

# **CONTRIBUTION A LA CONNAISSANCE DES PHÉNOMÈNES DE BAUXITISATION ET D'ALLITISATION LES SOLS DES KARSTS D'ATOLLS SURÉLEVÉS DU SUD-OUEST PACIFIQUE**

G. TERCINIER

## **RÉSUMÉ**

*Les karsts des hautes terrasses et anciens lagons des atolls surélevés du Sud-Ouest Pacifique, en particulier de l'île de Lifou dans l'archipel des Loyauté, sont recouverts par une faible épaisseur ou partiellement remplis de sols bruns à brun rouge, non ou peu calcaires, très humifères et extrêmement poreux. Sur les terrasses littorales de ces mêmes îles, on reconnaît, par places, des sols juvéniles andiques formés à partir de ponces volcaniques mélangées de calcaire corallien.*

*Ces sols bruns à rouge brun de karst, à teneurs très faibles en silice, sont de véritables formations bauxitiques meubles, à boehmite et produits alumineux amorphes dominant souvent la gibbsite et quasi-exempts de phyllites de la famille de la kaolinite.*

*Une origine autochtone de ces sols se révèle incompatible avec les infimes teneurs en aluminium des carbonates sous-jacents. Ils paraissent s'être formés à partir de matériaux allochtones, ponces volcaniques flottées principalement.*

*La bauxitisation y représente probablement le stade final de l'évolution de produits amorphes sous l'action, alcalinisante et saturante en cations alcalino-terreux, des carbonates.*

*L'origine et le mode de formation de bauxites de karst trouveraient ainsi une explication satisfaisante. Les résultats de la présente étude, généralisés à d'autres situations, pourraient également permettre de mieux comprendre certaines des voies suivies par la ferrallitisation et l'allitisation.*

## **ABSTRACT**

*The karsts of raised coral limestone terraces and lagoons of South West Pacific uplift atolls, particularly Lifou island (Loyalty archipelago), are slightly covered and partially filled with non calcareous (or slightly calcareous) brown to red brown highly humic and porous soils. On coastal terraces of these islands there are, from place to place, young andosols derived from volcanic pumices mixed with coral lime.*

*These brown to red brown karst soils with low rate of silica are true crumbly bauxitic formations, including mostly boehmite and amorphous aluminium products generally superior to gibbsite, but without kaolinitic clays (or very poor).*

*Autochthonous origin of this soils seems incompatible with the aluminium tiny amounts in underlaying carbonates. They seem to derive mainly from allochthonous products, i.e. drifting volcanic pumices.*

*The bauxitic process is probably only the final stage of amorphous products continuously transformed in presence of carbonates (alkaline weathering and cation saturation of soil solutions).*

*Therefore the origin and formation process of most karst bauxites could be satisfactorily explained. In a general way, the results of this study could also help understanding soil ferrallitisation and allitisation weathering process.*

## SOMMAIRE

### 1. INTRODUCTION

- 1.1. Rappel des conditions habituelles de la ferrallitisation.
- 1.2. Difficultés de rattacher à ces conditions le mode de formation des bauxites de karst.
- 1.3. Présence de sols bauxitiques de karst sur les atolls surélevés du S.W. Pacifique.
- 1.4. Objectifs du présent travail.

### 2. LES FAITS

- 2.1. Données générales sur les sols des îles Loyauté et particulièrement de Lifou.
- 2.2. Caractéristiques chimiques, physico-chimiques et minéralogiques en rapport avec la bauxitisation.

### 3. ORIGINE DES SOLS BAUXITIQUES DE KARST D'ATOLLS SURÉLEVÉS

- 3.1. Incompatibilité entre bauxitisation par voie autochtone et bilan de la décarbonatation.
- 3.2. Autres possibilités ne paraissant pas devoir être retenues.
- 3.3. Rôle probable des ponces volcaniques flottées, par l'intermédiaire des sols andiques.

### 4. MODE DE FORMATION DES SOLS BAUXITIQUES DE KARST D'ATOLLS SURÉLEVÉS

- 4.1. Signification probable de la présence et de l'abondance de boehmite.
- 4.2. Signification probable de la très fréquente absence de phyllites de la famille de la kaolinite et de l'abondance des sesquioxydes amorphes ou très mal cristallisés.
- 4.3. Signification probable des traces de phyllites de la famille de la kaolinite dans quelques uns des sols bauxitiques de karst étudiés.
- 4.4. Rôle supplémentaire possible joué par la matière organique.
- 4.5. Voie probable suivie lors de la formation des bauxites de karst : kaolinisation inhibée et produits d'altération maintenus à l'état amorphe.

### 5. TENTATIVE D'APPLICATION ET DE GÉNÉRALISATION DES RÉSULTATS OBTENUS

- 5.1. Problème du décalage entre lessivage en silice et lixivation en bases. Facteur « silice retard ».
- 5.2. Effet d'un lessivage en silice précédant la lixivation ou l'acidification : bauxitisation complète et accélérée.
- 5.3. Effet d'un apport décalé de silice soluble sans franche lixivation corrélative : formation d'halloysite et parfois de montmorillinite.
- 5.4. Compatibilité entre les faits observés et les principales hypothèses avancées concernant l'origine des bauxites de karst.

### 6. CONCLUSION : FACTEURS ESSENTIELS DE LA FORMATION DES BAUXITES DE KARST

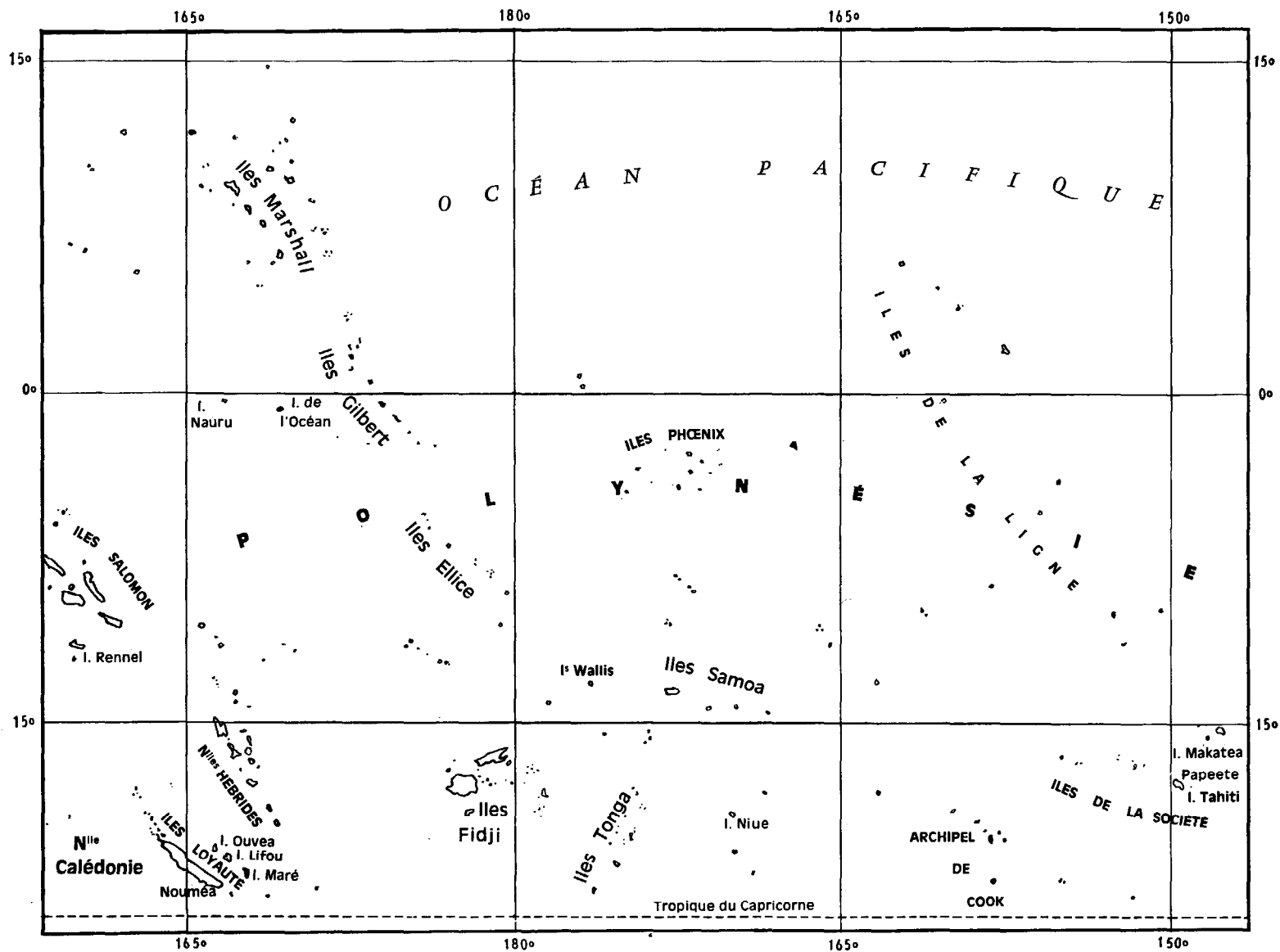


FIG. 1. — Carte de situation.

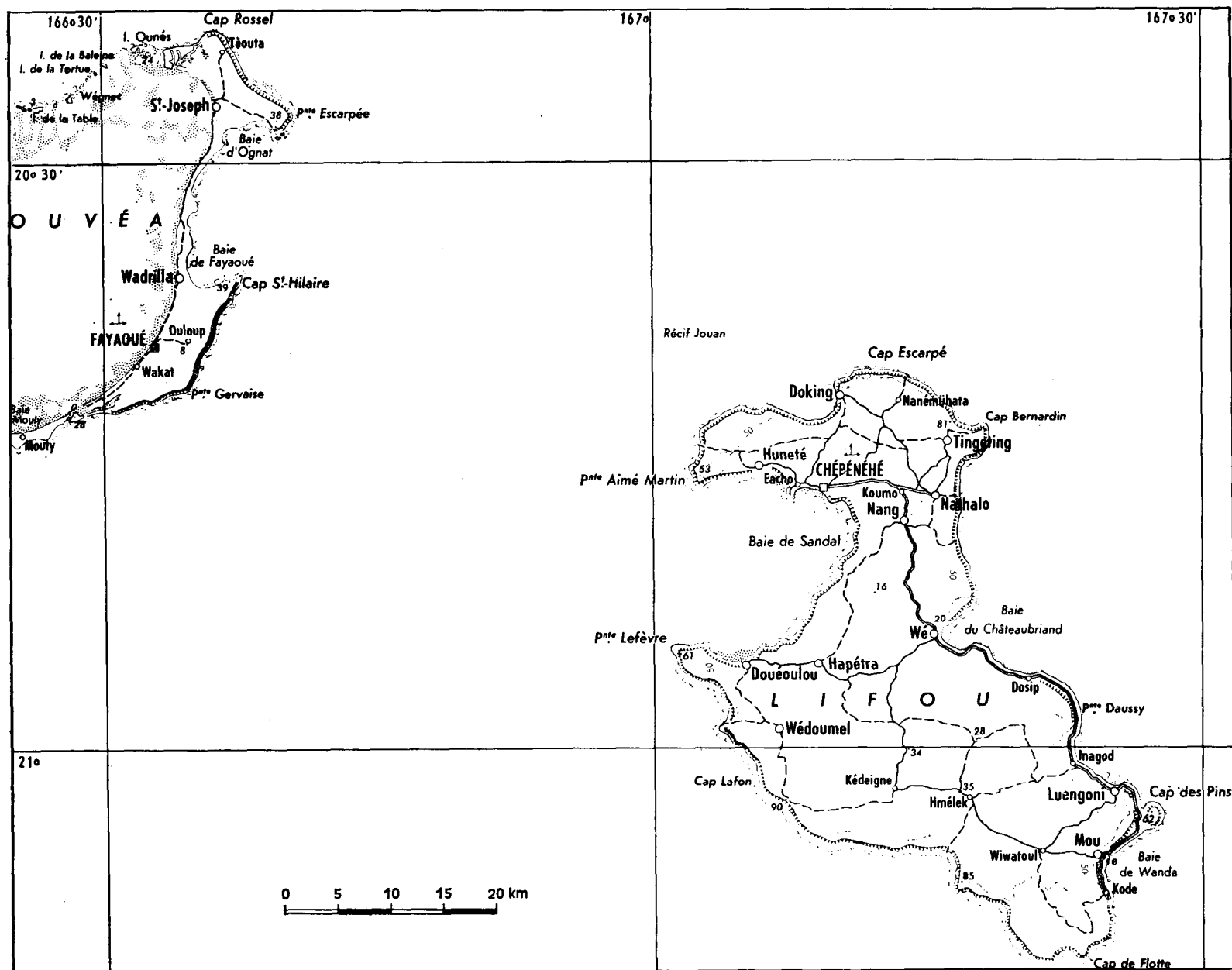


FIG. 2. — Carte de Lifou et de la partie Est d'Ouvéa.

## 1. INTRODUCTION

### 1.1. RAPPEL DES CONDITIONS HABITUELLES DE FERRALLITISATION

Un ensemble de travaux dont la synthèse a été faite par MILLOT [1964] et SEGALIN [1965], et auquel divers compléments ont été notamment apportés par DELVIGNE [1967], SIEFFERMANN [1969], TARDY [1969] et PAQUET [1969], a permis de mieux comprendre le phénomène pédologique de la ferrallitisation.

En plus d'un climat chaud et humide, d'excellentes conditions de percolation à travers les profils de solutions aqueuses pratiquement exemptes de silice sont indispensables à l'individualisation de véritables produits bauxitiques. Faute de quoi, et c'est ce qui est le plus communément observé, l'altération se fait plutôt dans le sens kaolinitique.

Dans les conditions habituelles intéressant les roches silicatées, le milieu, soumis à un lessivage et à une lixivation intense, est franchement acide et fortement désionisé, ce qui favorise la gibbsitisation mais, surtout, est indispensable à l'individualisation de kaolinite bien cristallisée.

### 1.2. DIFFICULTÉS DE RATTACHER A CES CONDITIONS LE MODE DE FORMATION DES BAUXITES DE KARST

De telles conditions s'accordent mal cependant avec le fait qu'un certain nombre de bauxites, parmi les plus typiques et les plus recherchées comme minerais, sont associées à des formations carbonatées. Ceci concerne non seulement des bauxites anciennes comme celles du midi de la France, de la Hongrie ou de la Yougoslavie, mais aussi des bauxites meubles éluviales de formation récente telles que celles exploitées dans la région caraïbe et décrites par de nombreux auteurs, notamment : ZANS [1952 et 1959], BUTTERLIN [1958], TRECHMANN [1959], ZANS et al. [1960 et 1961], AHMAD et al. [1966], SINCLAIR [1967].

En outre, le sesquioxyde d'aluminium monohydraté, la boehmite, très rarement reconnu même à l'état de traces dans les sols ferrallitiques habituels, est souvent bien représenté dans ces bauxites à mur calcaire ou dolomitique. Comme l'ont montré COLMET-DAAGE et ses collaborateurs [1969], ceci est vrai même aux Caraïbes, dans des situations où il ne paraît guère possible d'évoquer la diagenèse ou le métamorphisme pour justifier son abondance dans des formations superficielles et meubles du plioquaternaire.

En Océanie, GRANGE et FOX [1953] ont aussi noté qu'aux îles Cook les sols ferrallitiques formés aux dépens d'un mélange de produits basaltiques et de calcaire contiennent, contrairement à ceux formés aux dépens du seul basalte, beaucoup d'alumine amorphe et fréquemment de la boehmite. De plus, ces auteurs fournissent les résultats d'analyse totale d'un sol de l'atoll surélevé de Niue contenant 51,1 % d'alumine, 37,7 % d'oxyde ferrique et 3,3 % d'anhydride phosphorique, contre seulement 1,2 % de silice.

DE LAPPARENT [1930] remarquait déjà que toutes les études portant sur les bauxites ou latérites actuelles avaient été conduites « aux dépens d'une formation silicatée qui s'est déposée seule en tant que telle » et qu'il était fort possible que « le milieu imposé par la décarbonatation » n'ait pas « donné naissance à des phénomènes complètement identiques ».

### 1.3. PRÉSENCE DE SOLS BAUXITIQUES DE KARST SUR LES ATOLLS SURÉLEVÉS DU SUD-OUEST PACIFIQUE

Un remarquable exemple de genèse contemporaine et actuelle de telles bauxites associées à des formations carbonatées absolument exemptes de roches silicatées en place est fourni par les sols des grands atolls surélevés du Sud-Ouest Pacifique.

Le caractère bauxitique de ces sols, où des teneurs en alumine considérables sont associées à des teneurs en silice quasi-nulles, a été reconnu par SCHOFIELD [1959] et WRIGHT et VAN WESTERNDORP [1965] pour l'île de Niue, par DUGAIN [1953] et SCHMID [1956] pour les îles Loyauté. Tout récemment, DE WEISSE [1970] a aussi signalé leur présence sur l'île de Rennell (ou Rennel).

Quelque peu mise à part l'île de Maré, aux Loyauté, où s'observent de rares roches volcaniques en place, il s'agit de véritables atolls exclusivement formés de calcaire corallien fréquemment dolomitisé et très probablement surélevés au pléistocène moyen ou supérieur sous l'effet de mouvements tectoniques (CHEVALIER [1968]).

### 1.4. OBJECTIFS DU PRÉSENT TRAVAIL

Nous nous proposons ici, à partir de certains des principaux résultats d'une étude des sols de l'île de Lifou, le plus typique et le plus grand (1 100 km<sup>2</sup>) des atolls surélevés de l'archipel des Loyauté, d'apporter une contribution à la connaissance de la nature, de l'origine et du mode de formation des bauxites de karst.

## 2. LES FAITS

### 2.1. DONNÉES GÉNÉRALES SUR LES SOLS DES ILES LOYAUTÉ ET PARTICULIÈREMENT DE LIFOU

#### 2.1.1. Les sols bauxitiques. Description et principales données annexes

L'ancien lagon, l'ancien rempart et les principales terrasses surélevées de Lifou constituent des karsts, tantôt calcitiques, tantôt dolomitiques (LE JAN [1964]). Des sols non ou peu carbonatés (1), très friables et exceptionnellement poreux, de couleur brun à rouge brun en recouvrent ou remplissent plus ou moins les anfractuosités.

---

<sup>1</sup> Le terme carbonaté est utilisé dans l'ensemble du texte pour désigner les produits dolomitiques aussi bien que calcaires.

On peut y distinguer :

— un horizon A<sub>1</sub>, épais de 12 à 25 cm, très drainant, brun foncé à rouge brun foncé. La matière organique y est abondante (plus de 10 % sous végétation naturelle), très bien humifiée et peu colorée par elle-même ; malgré son caractère lié à la fraction minérale, cet humus est difficilement mouillable, d'où le pédoclimat sec qu'il confère à la partie supérieure du profil, en dépit d'une capillarité élevée. Des cailloux et graviers carbonatés, contournés, corrodés et revêtus d'un enduit terreux humique, sont assez souvent présents, sans que la terre fine soit-elle même calcaire ou dolomitique. La texture est apparemment limoneuse ou même limono-sableuse, mais les limons et sables fins présents sont, en fait, des produits de condensation de particules beaucoup plus fines. La structure est nette, moyenne à fine, généralement grumeleuse, parfois grenue ou polyédrique subanguleuse. La porosité est considérable (75 à 76 %), la densité apparente très faible (0,60 à 0,75), la friabilité excellente. Les racines et radicelles, sous forêt, forment un latic dense dans les trois premiers centimètres et sont ensuite bien réparties et encore nombreuses.

— cet horizon superficiel peut passer de façon nette, bien qu'interrompue par des fissures et poches séparées, à la roche calcaire ou dolomitique sous-jacente. Mais, plus généralement, on observe un horizon (B) d'épaisseur variable en fonction du développement du profil lui-même, lequel n'excède que rarement un mètre. Cet horizon très drainant n'en conserve pas moins bien la fraîcheur, sa capacité utile pour l'eau étant considérable. Sa couleur peut aller du brun foncé à peine rougeâtre au rouge sombre. La matière organique, presque toujours non directement décelable, y est encore bien représentée (2,5 à plus de 7 %). Des graviers, cailloux et blocs carbonatés sont très fréquemment présents, la terre fine ne l'étant cependant pas elle-même, sauf parfois à la base de l'horizon où, sur substrat dolomitique friable et pulvérulent (« katcha »), on peut assez souvent reconnaître un pseudomycelium calco-magnésien. La texture de la terre fine est apparemment limoneuse ou limono-sableuse mais, de façon plus nette encore que dans l'horizon superficiel, il s'agit de pseudo-limons et de pseudo-sables fins formés par condensation de particules élémentaires extrêmement fines (1). La structure est peu nette, pseudo-particulaire, grenue ou grumeleuse très fine, le terme de « farineuse » la caractérisant assez bien. La porosité est considérable (73 à 76 %), la densité apparente très faible (0,70 à 0,85), la friabilité excellente à l'état frais, la cohésion faible à l'état sec. Des radicelles assez nombreuses, au moins sous végétation naturelle, explorent l'ensemble de cet horizon. La transition à la roche calcaire ou dolomitique est nette, mais interrompue par des fissures et des poches non jointives remplies de terre fine brun rougeâtre à rouge sombre ; les racines des arbres s'enfoncent en profondeur en profitant des mêmes anfractuosités.

Parfois aussi l'on observe, à la base des profils, un encroûtement calco-sesquioxhydrique, véritable calcaire bauxitique, épais de quelques centimètres : en ce cas, lorsque le substrat est dolomitique, on constate une dédolomitisation à ce niveau.

## 2.1.2. Les sols juvéniles andiques carbonatés. Description et principales données annexes

Les sols bauxitiques n'existent pas sur les terrasses littorales coralliennes des îles de Lifou et d'Ouvéa. Par contre, des ponces volcaniques sont parfois venues s'y échouer. A partir de ces ponces, mélangées de débris coralliens, se sont individualisés des sols juvéniles andiques calcaires et très humifères. A titre d'exemple, nous décrivons un tel profil reconnu sous vieille cocoteraie à couvert herbacé dense et fourni.

<sup>1</sup> La surface spécifique des fractions granulométriques correspondant aux sables fins, systématiquement supérieure à celle des fractions granulométriques argileuses des mêmes horizons, y est de l'ordre de 100 m<sup>2</sup> gr. Les spectres de diffraction aux rayons X de la terre fine totale, des sables fins et de l'argile sont pratiquement identiques.

- 0-20 cm : frais, drainage interne bon, mais non excessif. Noir grisâtre très foncé à l'appréciation visuelle, noir au code Munsell (2,5 Y 2/0). Matière organique très abondante (30 %) et bien humifiée. Ponces volcaniques très nombreuses et en majorité peu altérées mélangées de débris coralliens (aragonite plutôt que calcite) constituant la fraction graveleuse. Texture gravelo-limoneuse. Structure polyédrique subanguleuse fine entre les graviers. Extrêmement poreux (77 %), densité apparente très faible (0,50), friable et motteux. Lacis dense et radicelles et de fines racines sur toute l'épaisseur de l'horizon. pH : 7,35.
- 20-30 cm : transition graduelle par l'intermédiaire d'un sous-horizon assez caillouteux.
- 30-60 cm : humide, mais bien ressuyé. Gris beige très foncé à l'appréciation visuelle, noir au code Munsell (2,5 Y 2/0). Matière organique encore très abondante (20 % entre 30 et 50 cm) et bien humifiée (1). Nombreuses ponces volcaniques plus altérées que dans l'horizon superficiel, mélangées de cailloux et bloc coralliens. Texture caillouto-limoneuse à gravelo-limoneuse. Structure grumeleuse fine peu nette entre blocs et cailloux. Très forte porosité (76 %) et très faible densité apparente (0,60) de la terre fine onctueuse mais non plastique. Nombreuses racines régulièrement réparties. pH : 7,4.

### 2.1.3. Végétation, climat, percolation

La végétation naturelle, en grande partie encore préservée sur Lifou comme sur les autres grands atolls surélevés du SW Pacifique, est la forêt pas très haute, mais dense, dont le puissant système racinaire explore toute la masse des sols et pénètre dans les anfractuosités de la roche carbonatée sous-jacente.

Le climat est caractérisé par une température moyenne annuelle de 23°, avec saisons chaudes et fraîches assez bien marquées, et par une pluviométrie voisine de 1 600 mm, avec saison sèche modérément marquée, mais importantes irrégularités d'une année à l'autre. L'extrême perméabilité des sols et de leur substrat permet à la totalité des eaux pluviales non utilisées par la végétation de s'infiltrer sur place ; l'on peut estimer le drainage moyen qui en résulte à environ 900 mm (2). Le climat du grand atoll partiellement surélevé voisin d'Ouvéa est sensiblement plus sec : néanmoins, ni la végétation, ni la nature des sols bauxitiques et andiques qu'on y trouve n'en sont notablement modifiées.

## 2.2. CARACTÉRISTIQUES CHIMIQUES, PHYSICO-CHIMIQUES ET MINÉRALOGIQUES EN RAPPORT AVEC LA BAUXITISATION

En dépit de l'intérêt qu'elles sont susceptibles de présenter pour le pédologue, nous nous abstenons de développer ici plusieurs questions ne présentant pas de rapports suffisamment étroits avec le sujet traité.

<sup>1</sup> Au niveau de cet horizon, dans d'autres profils, la matière organique est moins abondante et la couleur plus claire, tirant sur le châtain.

<sup>2</sup> En prenant  $P = 1\ 600$  mm et  $\alpha = 2$  (sols très perméables), l'indice de drainage calculé de HENIN et AUBERT est égal à 0,964 m. En partant des données de l'évaporomètre Piche et en appliquant la méthode de calcul de la section d'hydrologie du Centre ORSTOM de Nouméa (MONIOD, communication personnelle), on trouve, pour la station de Ouanaham à Lifou, au cours de la période 1961-1966, un drainage calculé égal à 0,870 m.



Il en est ainsi de l'état de division des sols bauxitiques ou andiques et des problèmes de granulométrie et d'organisation structurale qui s'y rattachent. Les données réunies concernant le mode de formation des encroûtements calco-sesquioxidiques et la dédolomitisation qui y est associée tendent à montrer qu'il s'agit de véritables horizons d'accumulation à la base des profils. Les fortes teneurs en matière organique bien humifiée, à rapport C/N voisin de 10, de ces mêmes sols doivent sans doute être, pour une bonne part, rapportées à la richesse en phosphore et soufre du milieu. Vis-à-vis de l'alimentation minérale des plantes, les déficiences majeures sont, d'une part, celle en potasse provoquée par une insuffisance de rétention des sols envers cet élément, de l'autre, celle en zinc plutôt liée à une inhibition ou à un excès de rétention.

### 2.2.1. Les sols bauxitiques (cf. analyses tab. IA)

Déduction faite de la perte au feu, les teneurs en alumine et oxyde de fer des sols bauxitiques de Lifou sont remarquablement stables :  $54 \% \pm 4 \%$  d'alumine et  $31 \% \pm 3 \%$  d'oxyde ferrique. Le long d'un même profil, le rapport des quantités relatives de ces deux éléments est non moins stable, d'où l'on peut conclure que la pédogenèse n'a provoqué aucun lessivage de l'un par rapport à l'autre (1). Le complément à 100 est principalement assuré par des quantités de silice ne dépassant pas 7 % et le plus souvent beaucoup plus faibles, par un peu d'oxydes de titane et de manganèse, par de la chaux et de la magnésie en proportions relatives variables en fonction du caractère calcaire ou dolomitique du substrat, mais toujours anormalement élevées pour des sols ferrallitiques, et par du phosphore représentant, exprimé en anhydride phosphorique, 1,5 à 5 % de la masse. Ces fortes teneurs en phosphore sont, du reste, caractéristiques des sols de karst d'atolls et, en d'autres situations que celle faisant l'objet de la présente étude, les formations bauxitiques y laissent la place à des dépôts de phosphates, à crandallite en présence d'alumine, à hydroxyapatite en l'absence de celle-ci (2).

Le pH de ces sols est très voisin de la neutralité et leur capacité d'échange, exclusivement liée à la matière organique et assez élevée grâce à l'abondance de celle-ci, est bien ou même le plus souvent parfaitement saturée.

L'état sous lequel se présentent l'oxyde de fer et l'alumine a fait l'objet de diverses déterminations : diffraction aux rayons X, analyses thermiques différentielles et thermopondérales, attaques acides et basiques ménagées successives selon la technique proposée par SEGALIN [1968]. (Cf. figures 3 et 4).

Une proportion du quart au tiers seulement de l'oxyde de fer est à l'état médiocrement à bien cristallisé : goëthite sans doute associée à de petites quantités de maghémite ou magnétite probable et d'hématite possible. Les deux tiers aux trois quarts restants seraient constitués de goëthite très mal cristallisée (3) plutôt que de produits dans un état d'inorganisation tel qu'ils puissent être considérés comme « amorphes ». La présence d'une petite quantité d'hydroxyde ferrique « amorphe » est cependant probable et serait susceptible de conférer aux sols une pigmentation rouge.

<sup>1</sup> Ceci est valable à Lifou, mais ne l'est pas obligatoirement pour d'autres atolls surélevés du S.W. Pacifique, où des mouvements signalés d'oxyde de fer et de manganèse pourraient être rapportés à des épisodes hydromorphes (Niue et Rennell).

<sup>2</sup> Les sols à crandallite (formule probable :  $2[(Ca, Sr), Al_3(PO_4)_2(OH)_5], 5 H_2O$  se reconnaissent sur les « petits atolls surélevés » du S.W. Pacifique, ceux à hydroxyapatite sur les atolls surélevés ou non du Centre Pacifique. Les rapports liant entre eux substratum corallien, phosphates et bauxites seront développés dans une future publication.

<sup>3</sup> L'état mal cristallisé de la goëthite et de la gibbsite se reconnaît à des pics de diffraction aux rayons X larges de la base et peu nets ou émoussés de la pointe. Un autre indice de cette mauvaise cristallisation est leur fragilité aux attaques ménagées acides et basiques successives rendant, du reste, au moins pour les oxydes de fer, leur distinction d'avec les formes amorphes délicate et imprécise.

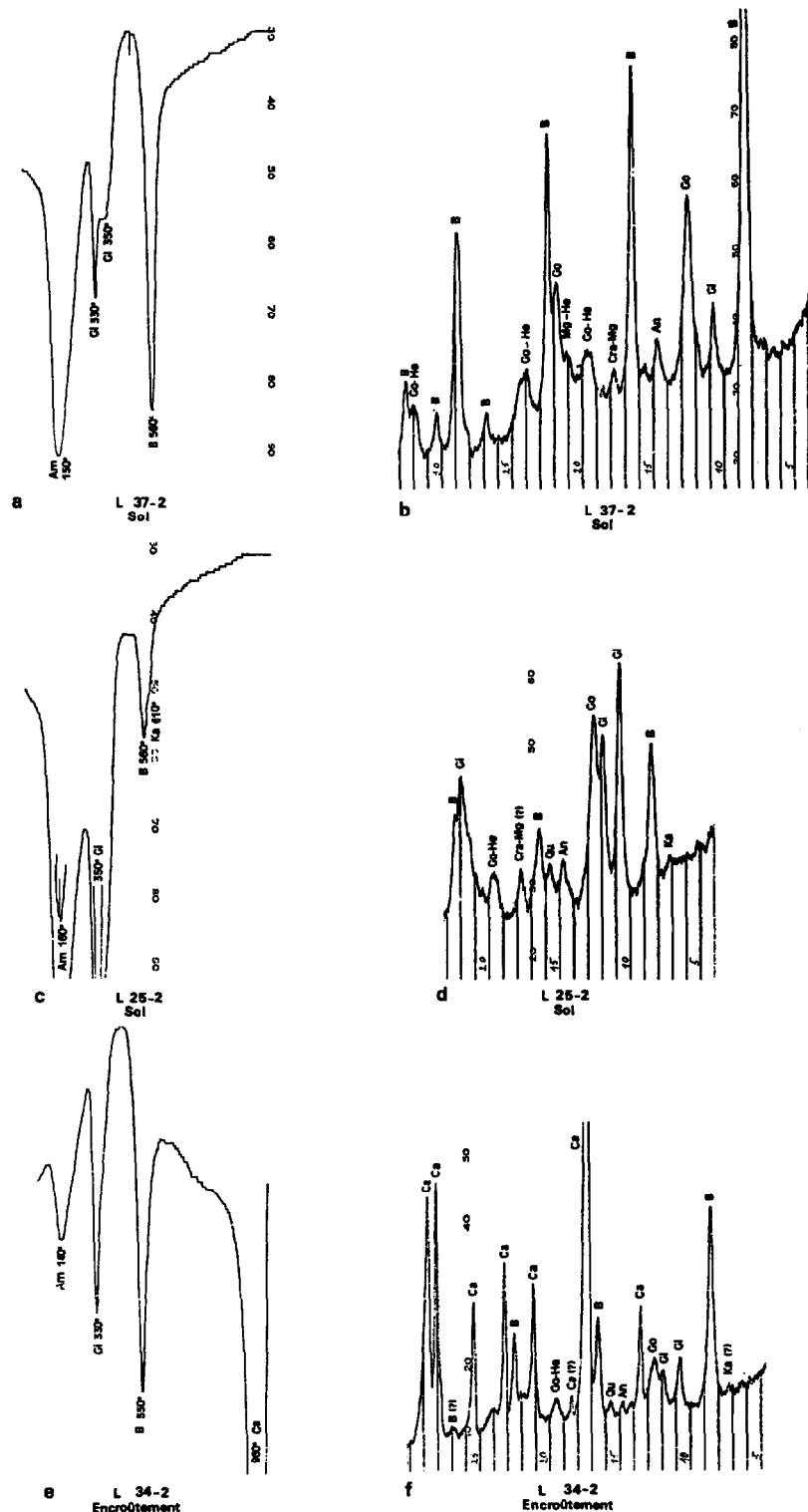


FIG. 3. — Sols bauxitiques : A.T.D. et Rayons X. L 37-2 : fortement boehmitique, L 25-2 : seul sol de Lifou plus gibbsitique que boehmitique, L 34-2 : encroûtement calco-sesquioxydique.  
 Am : « amorphes », B : boehmite, Gi : gibbsite, Go : goethite, K : arg. kaolonique, An : anatase, Ca : calcite, Cra : crandallite, He : hematite, Mg : oxydes de fer magnétiques, Qu : quartz. - a (L 37-2 sol) lire Go 350° au lieu de Gi 350°.

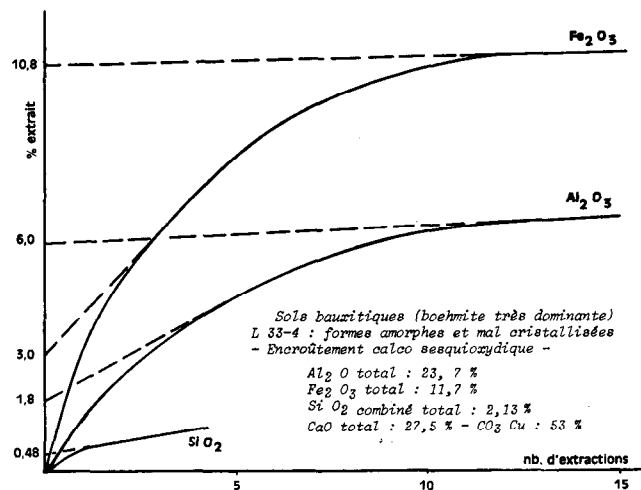
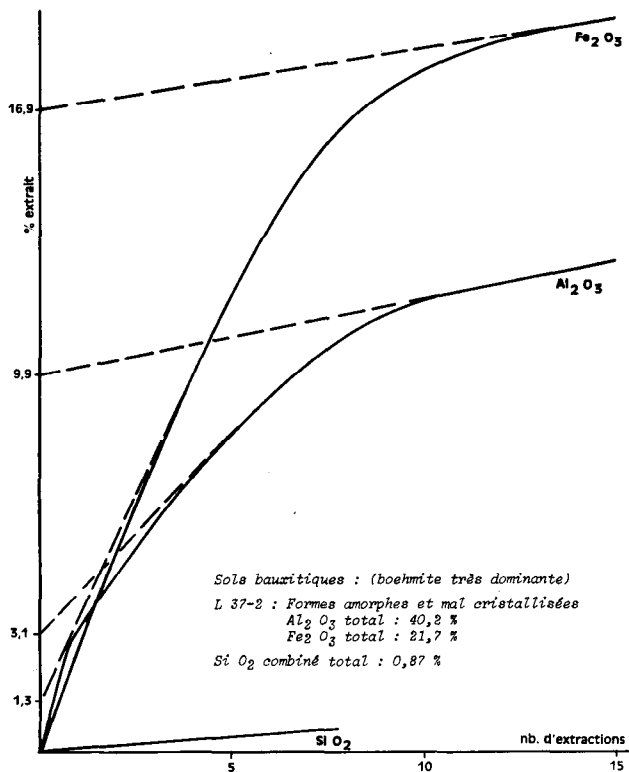
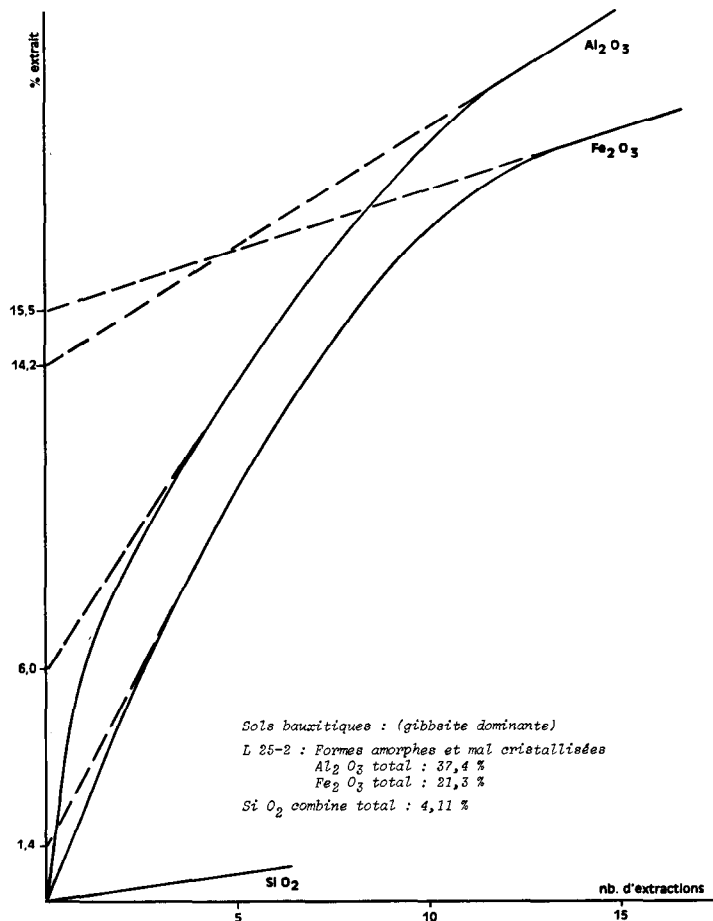
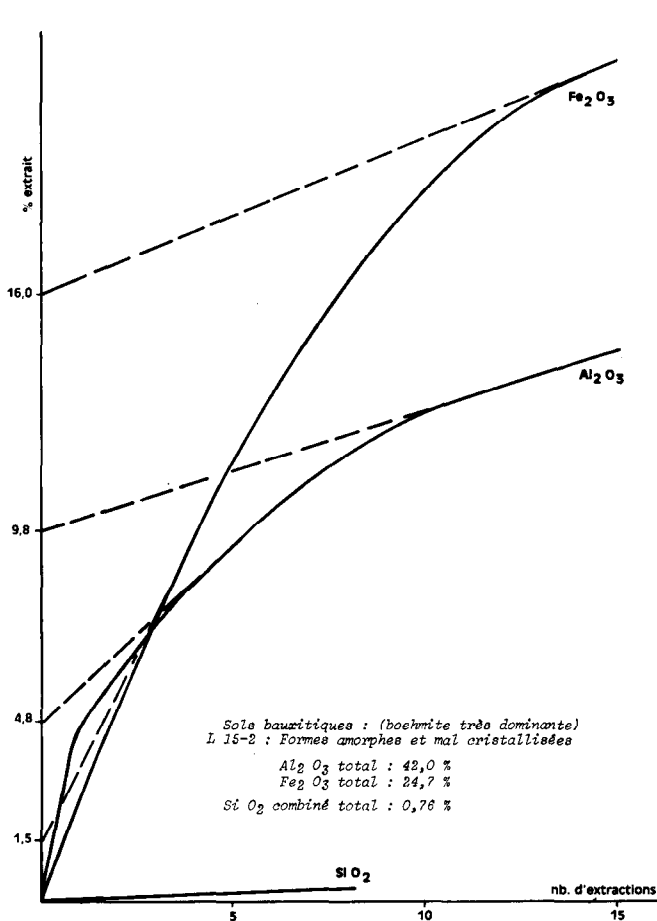


FIG. 4. — Sols bauxitiques : produits amorphes et mal cristallisés (méthode SEGALIN). Le premier palier, après la 3<sup>e</sup> ou 4<sup>e</sup> extraction, permet la détermination des sesquioxydes amorphes, le second palier, après la 10<sup>e</sup> extraction, celle des sesquioxydes mal cristallisés. - Figure en bas à droite : lire  $CO_3Ca$  au lieu de  $CO_3Cu$ .

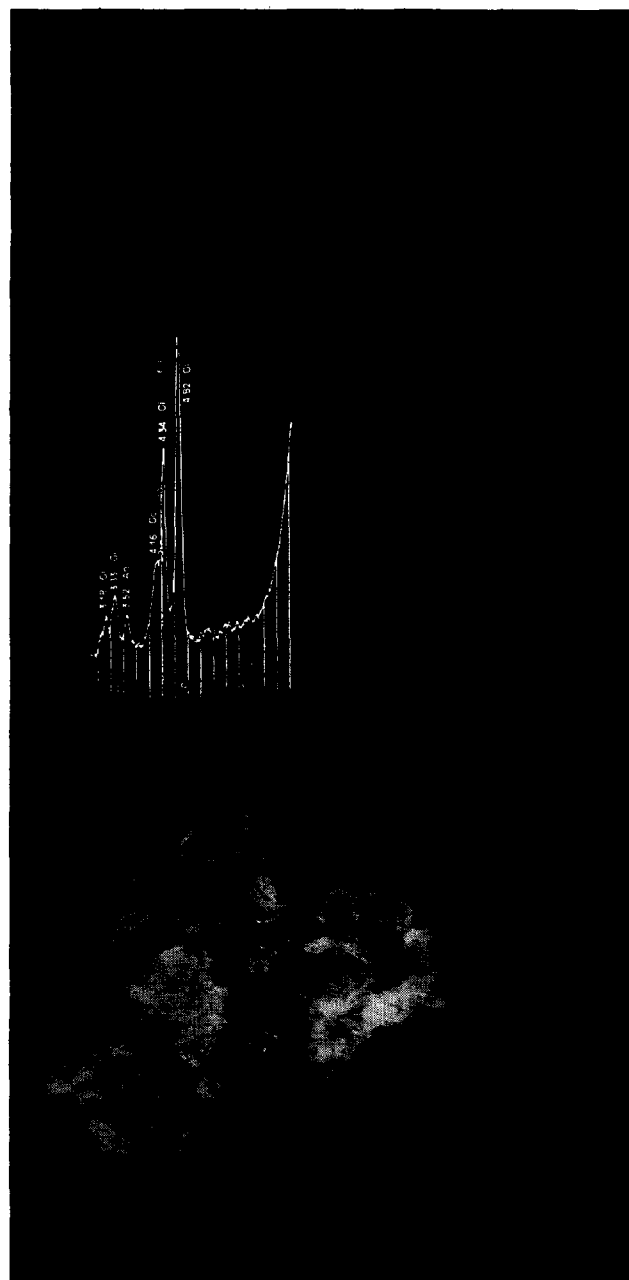
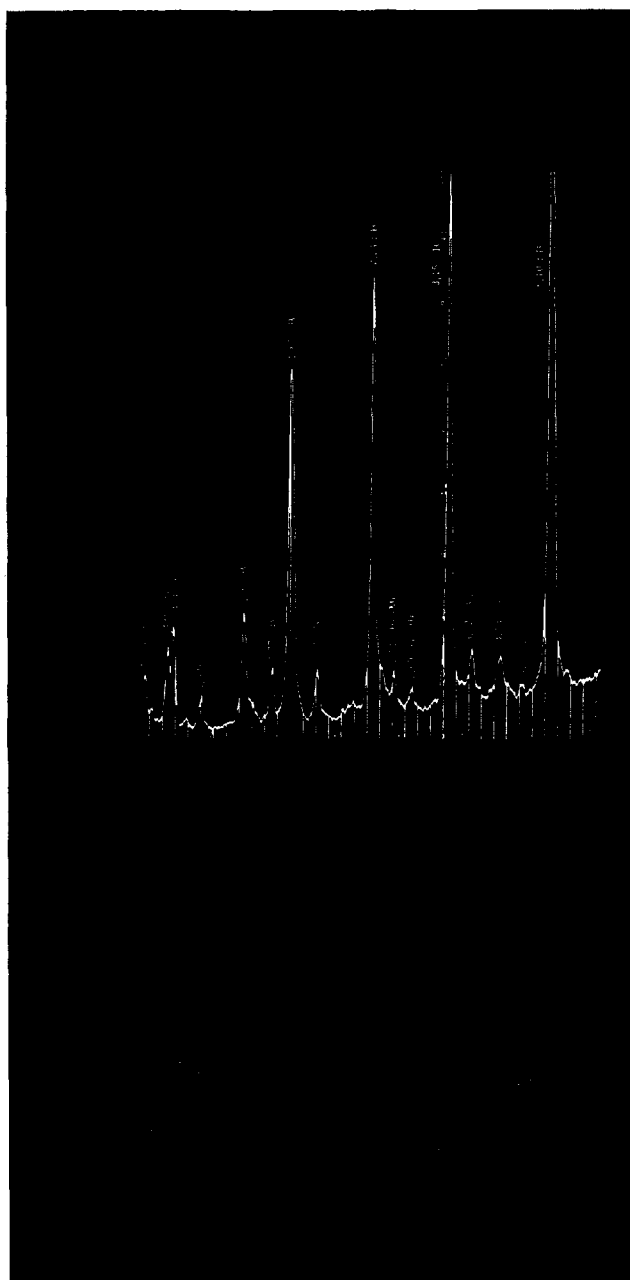


FIG. 5. — Boehmite (L 37-2), à gauche, et gibbsite (sol de l'île de Maré), à droite, vues au microscope électronique (après attaques chimiques ménagées). - Clichés J. TRICHET : Ecole Normale Supérieure - B : boehmite ; Gi : gibbsite ; Go : goethite ; He : hématite ; Me : oxydes de fer magnétiques ; An : anatase.

Au moins dans les sols de Lifou, la plus grande partie de l'alumine est à l'état de bœhmite. Celle-ci est bien cristallisée, contrairement à la gibbsite, laquelle l'est médiocrement à très mal (1). De plus, une notable quantité de « produits alumineux amorphes », se distinguant nettement de la gibbsite même très mal cristallisée a été reconnue dans tous les cas (cf. figures 3 et 4).

Les phyllites silicatées sont absentes ou à peine détectables. Néanmoins dans l'échantillon le plus gibbsitique et le moins mal pourvu en silice de tous ceux examinés (Li 25-2) les spectres de diffraction aux rayons X (petit pic à 7,1 Å environ) et l'analyse thermique différentielle (dédoublage du crochet endothermique à 550°) indiquent la présence d'une très petite quantité d'une argile mal cristallisée de la famille de la kaolinite, probablement métahalloysite.

Dans les encroûtements calco-sesquioxhydiques de la base des profils on trouve, associés à de la calcite, les mêmes constituants minéraux. Les sesquioxides de fer y sont cependant encore plus mal cristallisés et une partie notable d'entre eux est à l'état « réellement amorphe », tandis que la bœhmite est particulièrement abondante et la totalité ou quasi-totalité de la gibbsite très mal cristallisée.

L'absence de phyllites silicatées et le fait que la presque totalité des autres constituants minéraux sont à l'état amorphe ou mal cristallisés ont permis d'isoler, par attaques chimiques ménagées, de la bœhmite quasi-pure. Sous microscope électronique, ses cristaux, très petits ( $0,1 \mu \times 0,03 \mu$ ) mais bien formés, apparaissent très différents de ceux de gibbsite d'un sol de l'île voisine de Maré (cf. figure 5).

A partir de l'ensemble des données réunies et plus particulièrement des résultats d'attaques ménagées successives selon la méthode SEGALIN [1968], il a été tenté d'établir une répartition quantitative des diverses formes de sesquioxides pour un certain nombre de sols de Lifou (cf. figure 4 et tableau II).

Un premier palier, entre la 4<sup>e</sup> et la 7<sup>e</sup> extraction par attaques ménagées successives, permet la détermination directe de la quantité d'alumine présente à l'état amorphe. Un second palier, généralement entre la 11<sup>e</sup> et la 14<sup>e</sup> extraction, permet d'apprécier la quantité de gibbsite très mal cristallisée.

Le palier quasi-parallèle à l'axe des abscisses (extraction de 0,05 % d' $\text{Al}_2\text{O}_3$  par rapport à la masse de l'échantillon), qui correspond à l'attaque de la seule bœhmite et donc à l'extraction de la totalité de la gibbsite, n'a été atteint que pour l'encroûtement calco-sesquioxhydique Li 33-4. Néanmoins, des mesures thermopondérales, conduites sur quelques échantillons et contrôlées par l'analyse chimique et la diffraction aux rayons X, ont permis de déterminer, en fonction de la pente de la courbe d'extraction, un facteur correctif de la quantité de gibbsite restante après 14 extractions.

Une méthode homologue a été appliquée pour les oxydes de fer. Cependant, sauf pour l'encroûtement calco-sesquioxhydique Li 33-4, les résultats concernant l'oxyde de fer « amorphe » et la « gœthite médiocrement cristallisée » ont dû être assez largement extrapolés : aussi sont-ils très incertains et fournis seulement à titre indicatif.

### 2.2.2. Les sols juvéniles andiques carbonatés (cf. analyses, tab. IB)

Reconnus le long des franges littorales de Lifou et d'Ouvéa, ils présentent un rapport moléculaire  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  supérieur ou au minimum égal à 2, qu'on peut, pour une part, attribuer à la présence d'une notable quantité d'organismes à opale (2). Du fait de la présence de débris coralliens mélangés aux ponces le milieu d'altération reste carbonaté et les réactions basiques.

<sup>1</sup> Voir note 3 de la page 315.

<sup>2</sup> Beaucoup de ces organismes, de genres indéterminés et extrêmement petits, se reconnaissent dans la fraction granulométrique argileuse.

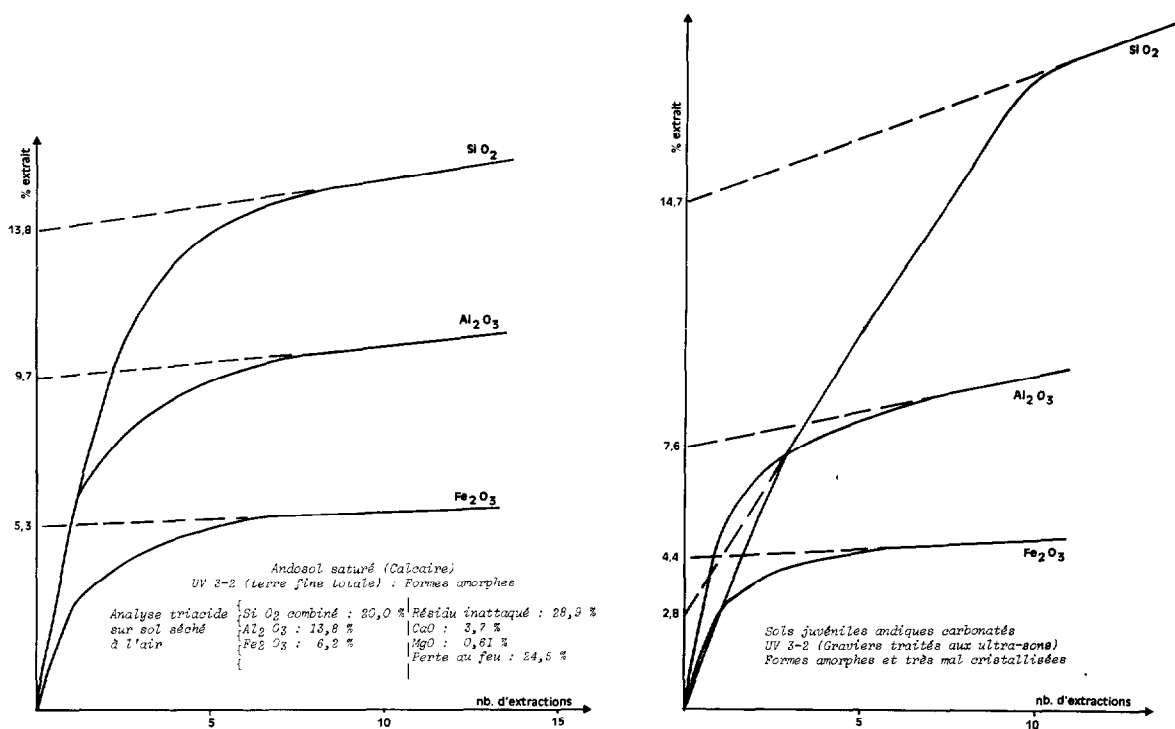


FIG. 6. — Sol juvénile andique carbonaté : produits amorphes et mal cristallisés (méthode SEGALÉN). Les paliers, apparaissant après 6 à 8 extractions, permettent la détermination directe des quantités de produits amorphes. L'allure de la courbe d'extraction obtenue à partir de la fraction graveleuse paraît indiquer qu'une bonne partie de la silice y est à l'état d'opale.

L'altération intragranulaire des ponces y est très active. Les fractions sableuses, pourtant bien découpées, présentent de fortes surfaces spécifiques et des capacités d'échange élevées. Les quantités de produits amorphes extractibles des sols, oxyde de fer et surtout alumine et silice, sont nettement supérieures à celles susceptibles d'être rapportées à la seule argile granulométrique. Cette même altération intragranulaire affecte aussi les graviers dont la surface spécifique et la capacité d'échange sont relativement élevées et dont les produits amorphes extractibles selon la méthode SEGALÉN représentent une proportion considérable de la masse : une bonne part de la silice ainsi extraite pourrait cependant correspondre à de l'opale (cf. figure 6).

Contrairement aux sols bauxitiques précédents, dans lesquels la silice amorphe est pratiquement inexistante, celle-ci est très abondante dans les sols andiques. L'allure des courbes d'extraction des produits amorphes indique que la quasi-totalité de l'oxyde de fer et une bonne partie de l'alumine sont présents à « l'état libre » plutôt que « liés à la silice ». Dans la mesure où, du fait de la présence d'opale, la silice extraite comme « amorphe » ne serait pas elle-même « libre », le rapport  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  des produits allophaniques silico-alumineux serait donc très élevé, de loin supérieur à 2.

L'étude minéralogique met en évidence d'importantes quantités de produits amorphes, lesquels constituent la quasi-totalité de l'argile granulométrique. Dans les fractions granulométriques plus gros-

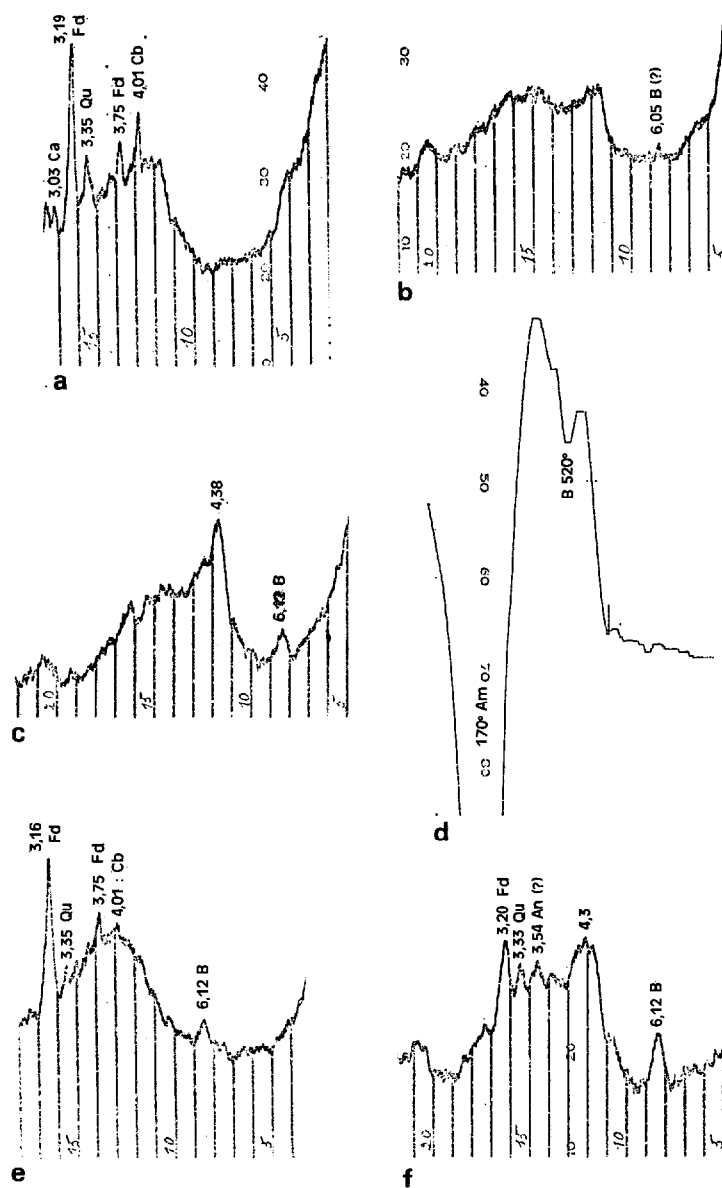


FIG. 7. — Sol juvénile andique carbonaté (UV 3-2)

- a) rayons X sur terre fine totale,  
 b) rayons X sur argile extraite au chlorure de potassium,  
 c) rayons X sur argile extraite aux ultra sons,  
 d) A.T.D. sur argile extraite aux ultra sons,  
 e) rayons X sur terre fine totale après élimination des « amorphes »,  
 f) rayons X sur argile extraite aux ultra sons après élimination des « amorphes »,  
 Am : « amorphes » ; B : boehmite ; An : anatase ; Ca : calcite ; Cb : cristobalite ; Fd : feldspaths ; Qu : quartz.

sières, on reconnaît quelques minéraux primaires parmi lesquels des feldspaths, de la calcite, de la cristobalite et des traces de quartz. Surtout l'étude minéralogique permet de constater un début d'individualisation de bœhmite. Par diffraction aux rayons X du sol brut ou de l'argile extraite au chlorure de potassium, la présence de ce minéral ne peut être mise en évidence ou reste douteuse. Mais, dans l'argile extraite aux ultrasons, la bœhmite peut être facilement reconnue par son crochet endothermique à 520° à l'analyse thermique différentielle et par son pic à 6,1 Å aux rayons X. L'élimination de la majeure partie des produits amorphes, par attaques chimiques ménagées successives, fait encore mieux apparaître son pic caractéristique à 6,1 Å. La bonne résistance aux acides et aux bases, manifestée par la même occasion, montre qu'il s'agit de bœhmite, peut être encore mal cristallisée, mais se différenciant nettement d'un simple gel pseudo-bœhmitique (cf. figure 7).

Par contre, et en dépit de la mise en œuvre de ces mêmes techniques d'attaques chimiques ménagées permettant, en d'autres cas, de les reconnaître même en association avec des quantités élevées de produits amorphes, la présence de phyllites de la famille de la kaolinite n'a pu être détectée. Ceci est contraire à ce que, sous un climat en principe beaucoup plus ferrallitisant, nous avons précédemment constaté aux Nouvelles Hébrides (TERCINIER et QUANTIN, [1968]) : à partir de l'altération de ponces dacitiques sur substrat volcanique très perméable et dans des conditions de milieu faiblement acide et très peu désaturé, c'est de l'hallowite et non de la bœhmite qui y apparaît précocement en association avec l'allophe.

### 3. ORIGINE DES SOLS BAUXITIQUES DE KARSTS D'ATOLLS SURÉLEVÉS

#### 3.1. INCOMPATIBILITÉ ENTRE BAUXITISATION PAR VOIE AUTOCHTONE ET BILAN DE LA DÉCARBONATATION

Il paraît impossible d'admettre, dans le cas de ces atolls surélevés, que des sols bauxitiques se soient principalement formés à partir de véritables produits de décarbonatation.

Une attaque acide, même ménagée et à froid, de leur substrat carbonaté ne laisse aucun résidu. D'après les nombreuses analyses que nous avons conduites, leurs teneurs en alumine, comme en oxyde de fer et en silice, ne dépassent guère 0,01 %.

Un calcul est simple à partir des données suivantes certainement valables en tant qu'ordre de grandeur.

Sols bauxitiques : densité apparente : 0,7 ; teneur en  $\text{Al}_2\text{O}_3$  : 38 %.

Substrat carbonaté : densité apparente : 2,5 ; teneur en  $\text{Al}_2\text{O}_3$  : 0,01 %.

Charge alcaline de la nappe d'eau douce sous-jacente à l'ancien lagon : 175 g par  $\text{m}^3$  exprimé en  $\text{CaCO}_3$ .

Percolation moyenne annuelle à travers le substrat carbonaté : 1  $\text{m}^3$  d'eau par  $\text{m}^2$ .

Le rapport du volume des sols bauxitiques formés à celui de la roche carbonatée dissoute serait de  $0,01 \times 2,5/38 \times 0,7 \neq 0,001$ . L'épaisseur moyenne des sols bauxitiques de Lifou pouvant être estimée à 40 cm, il aurait été nécessaire que 400 m de calcaire ou dolomie aient disparu pour laisser un résidu



suffisant. De plus, le temps requis pour que les eaux de percolation dissolvent ces 400 m de roches carbonatées aurait été de  $2\,500\,000 \times 400/175 \approx 5\,800\,000$  ans.

Tout ceci apparaît incompatible avec les formes morphologiques typiques d'atolls bien conservés d'îles telles que Lifou, Ouvéa, Niue et Rennell, comme avec l'âge pléistocène, moyen ou supérieur plutôt qu'inférieur, qui est généralement attribué à leur surélévation. En outre, ces sols n'existent pas sur les atolls surélevés éloignés des centres de volcanisme pyroclastique actifs au cours du quaternaire, en dépit d'une surélévation qui, d'après OBELLIANNE [1962], serait plus ancienne : c'est ainsi qu'à Makatea ils sont remplacés par des dépôts de phosphates à bas « feral » (somme oxyde de fer + alumine) ou même, dans la partie sud de cette île, par le lapiès nu.

### 3.2. AUTRES POSSIBILITÉS NE PARAISSANT PAS DEVOIR ÊTRE RETENUES

L'absence de tout dépôt terrigène dans les lagons fonctionnels d'atolls, y compris dans celui d'Ouvéa aux îles Loyauté, ainsi qu'un ensemble de données géochimiques concernant notamment le chrome, le nickel, le cobalt, le titane et le manganèse, ne permettent guère d'attribuer l'origine de ces sols à des poussières météoritiques, à des apports à partir de la Nouvelle Calédonie voisine, à des argiles des grandes profondeurs ou à des cendres émises par de lointains volcans basaltiques (1).

### 3.3. RÔLE PROBABLE DES PONCES VOLCANIQUES FLOTTÉES, PAR L'INTERMÉDIAIRE DES SOLS ANDIQUES.

Par contre, ces mêmes données géochimiques et l'examen des rares minéraux résiduels sont en faveur de leur origine à partir de produits pyroclastiques identiques à ceux, fréquemment dacitiques et ponceux, émis en grande abondance, durant tout le quaternaire et jusqu'à l'époque actuelle, par les volcans de la partie S.W. du cercle de feu du Pacifique et, notamment, par ceux de l'archipel voisin des Nouvelles Hébrides.

On peut trouver des ponces échouées sur tous les atolls, du Pacifique comme de l'Océan Indien et de l'Atlantique. Cependant, loin des centres d'émission récents de produits volcaniques pyroclastiques et plus ou moins acides, ce ne sont que de simples et rares curiosités. Mais elles deviennent très abondantes quand on se rapproche des centres d'émission de ces mêmes produits et en arrivent à former de véritables dépôts de remaniement des formations littorales de toutes les îles du S.W. Pacifique.

Les sols bauxitiques d'atolls surélevés se seraient donc principalement formés à partir de telles ponces flottées jouant le rôle de contaminateurs du corail, ce qui n'exclut pas pour autant la possibilité d'autres apports en quantités limitées : cendres fines volcaniques, produits de décarbonatation et d'origine

---

<sup>1</sup> Ceci est valable pour les îles Loyauté, mais ne l'est pas nécessairement pour d'autres grands atolls surélevés du S.W. Pacifique. Dans les sols bauxitiques de Niue, des teneurs élevées en chrome ont été signalées, ainsi qu'une assez forte radioactivité, cette dernière pouvant néanmoins être rapportée à la phosphatation (cf. EYLES [1958] et OBELLIANNE [1962]). Des témoignages de faibles apports possibles de produits micacés ont été aussi reconnus aux îles Loyauté.

éolienne. Les sols juvéniles andiques carbonatés des terrasses littorales, dépourvus de phyllites silicatées mais où la bœhmite commence à s'individualiser, représenteraient le premier stade de leur pédogénèse.

On peut, à ce propos, noter les nombreux points de convergence, si ce n'est liens de parenté génétique avec les andosols, présentés par les sols bauxitiques d'atolls surélevés : extrême porosité, très faible densité apparente et très forte capacité de rétention pour l'eau ; caractère onctueux mais non plastique et peu collant de leur horizon (B) à l'état humide ; très grande difficulté théorique et pratique d'en définir la texture ; fortes teneurs en matière organique dont une bonne part non directement détectable et si fortement liée à la fraction minérale qu'elle en devient quasi-indestructible à l'eau oxygénée ; réaction généralement positive au test de FIELDS et PERROTT [1966], même en l'absence de carbonates.

Ils ne se distinguent, en fait, d'andosols que sur deux points fondamentaux : capacité minérale d'échange de cations pratiquement nulle et absence, dans leur fraction amorphe ou très mal cristallisée, de produits silico-alumineux ou silico-ferriques.

#### 4. MODE DE FORMATION DES SOLS BAUXITIQUES DE KARSTS D'ATOLLS SURÉLEVÉS

Celui-ci peut être déduit de leur caractère bœhmitique et de l'abondance des produits très mal cristallisés ou amorphes contrastant avec l'absence quasi-complète de phyllites de la famille de la kaolinite.

##### 4.1. SIGNIFICATION PROBABLE DE LA PRÉSENCE ET DE L'ABONDANCE DE BOEHMITE

PAPEE, TERTIAN et BIAIS [1958] ont montré qu'un gel d'alumine précipité à un pH faiblement basique s'organise en pseudo-bœhmite et se transforme alors facilement en bœhmite bien cristallisée ; par contre, il perd rapidement son début d'organisation bœhmitique par acidification du milieu.

Surtout, la bœhmite apparaît quasi-systématiquement lors des altérations expérimentales de roches silicatées, pourvu que la réaction du milieu soit légèrement basique ou voisine de la neutralité. TRICHET [1970], dans les produits résiduels de l'altération expérimentale de verres volcaniques acides, obtient quasi-exclusivement de la bœhmite bien cristallisée. PEDRO [1964] a d'abord montré que l'individualisation de bœhmite paraît favorisée, vis à vis de celle de la gibbsite, par des conditions de drainage particulièrement favorables, lesquelles correspondent bien à celles de produits extrêmement poreux, tels que des ponces, reposant en faible épaisseur sur un substrat corallien. LUBIN [1967] et PEDRO et LUBIN [1968 a et b] ont ensuite mis en évidence que les gels aluminosiliciques évoluent dans le sens bœhmitique ou gibbsitique en fonction de l'état hexa ou tétra-coordonné de l'aluminium dans ces gels et du pH de l'eau de percolation. PEDRO, BERRIER et TESSIER [1970] en arrivent à attribuer le rôle essentiel au pH des eaux de percolation, une réaction neutre ou faiblement basique de celle-ci provoquant l'individualisation de bœhmite, même aux dépens de phyllites de la famille de la kaolinite, surtout si ces dernières présentent un état médiocrement ordonné de leur réseau cristallin. Une des conclusions de ces auteurs est la suivante : « Il devient très vraisemblable de penser que la cristallisation éventuelle d'hydrate libre est plutôt orientée vers la formation de bœhmite par suite de la présence constante d'une quantité non négligeable d'ions Ca au sein du milieu en voie d'évolution ».

#### 4.2. SIGNIFICATION PROBABLE DE LA TRÈS FRÉQUENTE ABSENCE DE PHYLLITES DE LA FAMILLE DE LA KAOLINITE ET DE L'ABONDANCE DES SESQUIOXYDES AMORPHES OU TRÈS MAL CRISTALLISÉS.

Un grand nombre d'auteurs dont GASTUCHE et al. [1961 et 1962], DE KIMPE et al. [1961 et 1964], SIFFERT [1962], FRIPIAT et al. [1963] ont mis en évidence que la formation de kaolinite, comme celle de gibbsite bien cristallisée, exige un milieu acide et surtout exempt de sels solubles où les produits d'altération directe des silicates s'organisent de telle sorte que l'aluminium y est à l'état hexacoordonné.

MILLOT [1964] insiste sur la nécessité de l'hexacoordination de l'aluminium préalablement à la kaolinitisation, de la désionisation du milieu et tout particulièrement de l'absence dans celui-ci d'ions alcalino-terreux. Il précise que, si ces conditions ne sont pas remplies, les produits intermédiaires de l'altération restent à l'état de gels alumino-siliceux, ce que l'étude minéralogique des sols juvéniles andiques carbonatés paraît bien confirmer.

TRICHET [1970] montre expérimentalement que ce n'est que dans des conditions s'éloignant considérablement de celles d'individualisation des sols qu'il y a compatibilité entre kaolinitisation et altération de produits volcaniques pyroclastiques au contact de solutions bien pourvues en silice et calcium.

Quittant le domaine de l'expérimentation, PAQUET [1969] compare les sols formés sous climats méditerranéens et tropicaux ; cet auteur interprète comme résultant de l'état de plus ou moins complète désionisation du milieu, l'état plus ou moins bien ordonné de la kaolinite et conclut qu'une bonne cristallisation de celle-ci exige une désaturation très poussée.

On constate donc que des conditions d'altération ferrallitisantes n'excluant pas l'influence d'un degré élevé de saturation en ions alcalino-terreux sont particulièrement défavorables à l'individualisation de kaolinite.

#### 4.3. SIGNIFICATION PROBABLE DE TRACES DE PHYLLITES DE LA FAMILLE DE LA KAOLINITE DANS QUELQUES-UNS DES SOLS BAUXITIQUES DE KARST ÉTUDIÉS

Comme en témoigne la fréquente absence de carbonates libres dans ces sols, la présence d'un substrat karstique à faible profondeur n'empêche pas la décarbonatation. Le milieu qui en résulte, faiblement acide et légèrement désaturé, peut permettre « à la limite » la formation d'argiles de la famille de la kaolinite.

En outre de faibles quantités de quartz et de cristobalite sont présentes dans les sols andiques et se retrouvent même dans les sols bauxitiques. Une certaine permanence de l'alimentation en silice des produits amorphes ou mal cristallisés à leur contact doit en résulter.

C'est ce qui explique sans doute la présence de très faibles quantités d'une phyllite kaolinitique dans les seuls sols bauxitiques des îles Loyauté plus gibbsitiques que bœhmitiques. Mais il s'agit alors de produits très peu résistants aux réactifs chimiques et très mal ordonnés, donc susceptibles d'une assez facile évolution ultérieure dans le sens allitique, comme l'indiquent SIEFFERMANN [1969] et PEDRO et al. [1970].

Du reste, dans les sols ferrallitiques faiblement ou moyennement désaturés pénévulés sur roches volcaniques des îles du Pacifique, l'halloysite ou la métahalloysite tiennent fréquemment le rôle habituellement dévolu à la kaolinite. Or la proportion des sesquioxydes d'alumine individualisés aux argiles halloysitiques y varie dans une très large gamme. Par contre, dans les sols ferrallitiques à kaolinite bien ordonnée,

reconnus dans les mêmes régions et sous le même climat, les sesquioxides d'alumine individualisés sont absents ou seulement présents en très faible quantité.

#### 4.4. RÔLE SUPPLÉMENTAIRE POSSIBLE JOUÉ PAR LA MATIÈRE ORGANIQUE

Les sols andiques et bauxitiques d'atolls surélevés sont particulièrement bien pourvus en matière organique et une notable partie de leur humus y paraît engagée à l'état de complexes avec les produits amorphes.

Le résultat pourrait en être, d'après SIFFERT et WEY [1961], de favoriser le passage de l'aluminium à l'état hexacoordonné et donc de faciliter l'individualisation d'argiles kaolinitiques et de gibbsite.

Mais, d'après de nombreux auteurs, dont SIEFFERMANN [1969], la présence de ces mêmes complexes aurait aussi pour effet de contrecarrer la cristallisation des produits amorphes. Dans ces conditions, les argiles kaolinitiques et la gibbsite formées devraient se présenter dans l'état mal cristallisé reconnu dans les sols bauxitiques de karst étudiés.

#### 4.5. VOIE PROBABLE SUIVIE LORS DE LA FORMATION DES SOLS BAUXITIQUES DE KARST

En dehors des situations où, généralement associée au diaspore, elle peut être d'origine diagénétique ou submétamorphique, la présence de bœhmite paraît bien témoigner de la nature carbonatée du milieu d'allitisation. Mais ce serait surtout l'inhibition et les contraintes à la formation ou à l'acquisition d'un état ordonné de la kaolinite qui favoriseraient la bauxitisation.

Pris en ce sens et toutes choses égales par ailleurs, kaolinitisation et allitisation n'apparaissent pas comme des phénomènes de nature trop complémentaire et trop proches dans leurs processus physico-chimiques pour ne pouvoir être habituellement dissociés. Tout ce qui, en conditions par ailleurs ferrallitisantes, nuit à la kaolinitisation favorise, du même coup, une désilicification complète et conduit à des produits résiduels principalement ou même exclusivement sesquioxydiques. L'absence de désionisation, liée à l'influence d'une roche carbonatée, est l'un des facteurs susceptibles d'inhiber la kaolinitisation, mais il n'est sans doute pas le seul.

Ainsi les produits intermédiaires de l'altération des roches silicatées en bauxites seraient les allophanes et l'étape de la pédogenèse y correspondant serait un stade andique vis à vis duquel la kaolinitisation représenterait une impasse et l'halloysitisation une voie étroite.

### 5. TENTATIVE D'APPLICATION ET DE GÉNÉRALISATION DES RÉSULTATS OBTENUS

#### 5.1. PROBLÈME DU DÉCALAGE ENTRE LESSIVAGE EN SILICE ET LIXIVATION EN BASES

##### *Facteur « silice retard »*

La compatibilité d'un milieu non ou faiblement acide, et surtout non désionisé, avec des conditions

d'altération et de lessivage très ferrallitisantes, pose évidemment un problème. Si ferrallitisation et maintien d'un degré élevé de saturation en bases peuvent paraître incompatibles, c'est qu'il est généralement fait référence, en la matière, à des roches riches en quartz introduisant dans le milieu préalablement désionisé un facteur « silice retard », d'où antagonisme entre altération des roches quartzeuses et allitisation poussée.

Ainsi, à propos de l'altération ferrallitique des granites, LENEUF [1953] écrit : « les possibilités de dissolution lente du quartz, toujours très abondant dans le milieu granitique, laissent prévoir une permanence très longue de l'alimentation en silice sous forme de solutions ou de pseudo-solutions ». C'est à cette permanence de l'alimentation en silice que NICOLAS et VERDIER [1964] rapportent l'inexistence d'hydroxydes d'alumine libre dans les produits d'altération kaolinitiques de roches quartzeuses acides.

En sens inverse, DE WEISSE [1964] précise que l'absence de quartz est un caractère constant des bauxites de karst, tandis que BUSHINSKY [1963], insiste sur le fait que les divers types de bauxites de l'Union Soviétique n'ont pu se former qu'à partir de roches aluminosiliciques non ou très peu quartzeuses.

## 5.2. EFFET D'UN LESSIVAGE EN SILICE PRÉCÉDANT LA LIXIVATION OU L'ACIDIFICATION

La ferrallitisation, au contact et sous l'influence d'une roche carbonatée, s'accompagne évidemment d'une absence de désionisation. Mais il s'en faut aussi de beaucoup pour qu'un tel décalage de phase entre lixivation en bases et lessivage en silice existe pour les sols formés à partir de roches volcaniques vitreuses ou cryptocristallines, surtout si elles sont divisées au départ ou simplement vacuolaires et poreuses. Lors de leur altération rapide « en masse et intragranulaire », la silice non engagée dans des édifices cristallins ordonnés passe facilement dans les eaux de percolation, tandis que les produits intermédiaires du type allophane qui se forment freinent la lixivation par leur capacité d'échange élevée. A ceci s'ajoute l'action d'une végétation dense, recyclant continuellement, pour la satisfaction de ses besoins alimentaires, la chaux, la magnésie et la potasse et participant à leur rétention physico-chimique par le caractère fortement humifère qu'elle confère aux horizons superficiels des sols <sup>(1)</sup>. En outre, une particularité bien connue des sols à allophane est de pouvoir présenter des réactions encore voisines de la neutralité associées à une désaturation déjà bien marquée ; or dans les altérations expérimentales précédemment évoquées de PEDRO et de ses collaborateurs, c'est le pH du milieu beaucoup plus que la charge ionique qui oriente les néogénèses.

Dans ces conditions, une désilicification poussée paraît bien fréquemment précéder la désaturation en bases ou l'acidification. C'est ainsi que, sur de nombreuses îles du Pacifique, telles que celles de Polynésie Française et de Wallis, la fraction « terre fine » de sols juvéniles bruns eutrophes andiques, non calcaires, mais encore bien pourvus en débris de roches en cours d'altération, apparaît déjà comme presque complètement désilicifiée.

Un corollaire intéressant à souligner en est que, vis-à-vis de la kaolinisation, la bauxitisation a toute chance d'être un phénomène rapide, puisqu'elle doit intervenir à partir de produits amorphes ou très mal cristallisés instables et précéder la désaturation ou l'acidification (BARDOSSY [1970], BOURGEAT [1970]).

---

<sup>1</sup> De fortes teneurs en matière organique sont aussi susceptibles de contrecarrer la formation de kaolinite bien ordonnée. Sur roches basiques particulièrement, des produits de néogénèse magnésiens peuvent permettre une permanence très longue de l'alimentation en magnésium interdisant la désionisation complète.

### 5.3. EFFET D'UN APPORT DÉCALÉ DE SILICE SOLUBLE SANS FRANCHE LIXIVATION CORRÉLATIVE

Des apports successifs de matériaux pyroclastiques volcaniques peuvent aussi conduire à la ressilification de produits amorphes ou très mal cristallisés. Même dans les conditions de roche, de climat, et de pH qui viennent d'être évoquées, l'allitisation s'en trouve inhibée.

Ce sont alors des sols déjà formés, le plus souvent bien pourvus de fractions fines, que viennent recouvrir ou contaminer en surface les cendres, scories et ponces émises par les éruptions les plus récentes. La silice qu'elles libèrent au cours de leur altération est entraînée par les eaux de percolation à travers les profils. Le milieu en résultant est, du fait des cations alcalins et alcalino-terreux lessivés en même temps que la silice, neutre ou très peu acide. Pour sa part, le drainage interne est ralenti par le caractère préalablement argilitisé des sols contaminés ou même enterrés sous les apports de matériaux volcaniques les plus récents. Dans de telles situations, ce sont des phyllites mal ordonnées de la famille de la kaolinite qui ont le plus de chance de se former sous climat naturellement ferrallitisant. C'est, sans doute, à de tels rajeunissements et contaminations que peut être, pour une part, rapportée la remarquable extension des sols à halloysite ou métahalloysite dans les régions intertropicales humides à volcanisme actuellement ou récemment actif. Les Nouvelles Hébrides en sont un bon exemple, notamment sur les grandes étendues de sols halloysitiques profonds, à peine acides et bien saturés en bases, qu'on y reconnaît dans des régions recevant trois mètres et plus de pluies régulièrement réparties dans l'année, y compris sur de vastes plateaux à substratum calcaire comme ceux de l'Est de l'île d'Espirito Santo.

Mais, en cas d'apports particulièrement importants de produits pyroclastiques basiques libérant des quantités massives de silice, d'un ralentissement plus marqué du drainage interne et sous climat légèrement moins pluvieux, c'est de la montmorillonite qui doit préférentiellement se former. C'est bien ce que l'on observe aux Nouvelles Hébrides. D'une part, des quantités importantes de montmorillonite s'y individualisent par « altération intragranulaire » des scories basiques dans les horizons (B) à drainage ralenti de sols andiques (île de Tongariki). De l'autre, des sols montmorillonitiques rubéfiés peuvent y être reconnus, même en position haute, dans des régions recevant encore deux mètres d'eau régulièrement répartis dans l'année, particulièrement à proximité de volcans à forte activité pyroclastique : versant est de l'île de Malikolo, sous le vent des volcans d'Ambrym et de Lopévi.

### 5.4. COMPATIBILITÉ ENTRE LES FAITS OBSERVÉS ET LES PRINCIPALES HYPOTHÈSES AVANCÉES CONCERNANT L'ORIGINE DES BAUXITES DE KARST.

Peu importe, en fait, l'origine et même, pourvu qu'il ne s'agisse pas de produits riches en quartz ou préalablement kaolinisés, la nature des matériaux à partir desquels se sont formées les bauxites de karst. Il n'existe pas de réelle incompatibilité entre leurs conditions d'individualisation et la plupart des hypothèses autochtones, para-autochtones et allochtones qui ont été avancées à leur sujet.

Au cours de leur longue histoire géologique, des bauxites de karst telles que celles du midi de la France, de la Hongrie ou de la Yougoslavie ont pu subir bien des vicissitudes sans rapport direct avec l'allitisation. Lors de leur formation ou postérieurement à celle-ci, ont pu intervenir des apports, des recouvrements, des remaniements, des mouvements d'oxyde de fer et des phases de kaolinisation liés à des épisodes hydromorphes ou de ressilification secondaire.

Ultérieurement, la diagenèse ou le submétamorphisme ont pu intervenir, y permettant la formation de diaspore et éventuellement l'accroissement de la porportion de boehmite, en même temps que l'acquisition d'un caractère massif que n'ont nullement les sols bauxitiques de karst de formation récente.

## 6. CONCLUSION : FACTEURS ESSENTIELS DE LA FORMATION DES BAUXITES DE KARST

Les conditions où se présentent les sols de karst d'atolls surélevés du Sud-Ouest Pacifique ont l'avantage d'isoler presque parfaitement le phénomène de bauxitisation et de permettre ainsi d'en mieux comprendre les tenants et les aboutissants.

Ce qui paraît fondamental, dans ce cas, est, sous climat chaud et humide, sans qu'il soit cependant besoin de faire intervenir des pluviosités exceptionnelles, l'altération de « produits terreux » de nature et d'origine pouvant être assez quelconque, en présence et sous l'influence d'un substrat carbonaté très perméable. Celui-ci, tout en assurant un soutirage intense de la silice libérée par hydrolyse, entretient un état élevé de saturation ionique du milieu.

Ceci n'a rien à voir avec une prétendue meilleure solubilité de la silice à pH élevé, à laquelle il a été parfois tenté de rapporter une plus grande facilité d'allitisation en condition d'altération basique. Cette solubilité est maintenant reconnue pratiquement constante dans toute la gamme des pH intéressant les sols et l'altération des roches.

Par contre, il en résulte une inhibition de la kaolinitisation et le maintien à l'état amorphe des produits intermédiaires de la pédogenèse. On en arrive ainsi, et sans doute assez rapidement, à la constitution d'un résidu exclusivement ou quasi-exclusivement sesquioxydique, dans lequel la boehmite témoigne d'une allitisation en milieu saturé en bases.

## BIBLIOGRAPHIE

- AHMAD (N.), JONES (R.L.), BEAVERS (A.H.) [1966]. — Genesis, mineralogy and related properties of West Indian soils. I : Bauxitic soils of Jamaica. *Soil Sc. Soc. Amer. Proc.*, 30, 720-722.
- BARDOSSY (G.) [1970]. — Comparaison des bauxites de karst. *Ann. Inst. Géol. Publici Hong.*, LIV, 3, 51-65.
- BOURGEAT (F.) [1970]. — Contribution à l'étude des sols sur socle ancien à Madagascar. Thèse Fac. Sc. Univ. Strasbourg, 310 p. - IX. *multigr.*
- BUSHINSKY (G.I.) [1963]. — Types of karst deposits and their genesis Actes Symp. sur les bauxites, Zagreb, 1, 93-105.
- BUTTERLIN (J.) [1958]. — A propos de l'origine des bauxites des régions tropicales calcaires. *C.R. Soc. Géol. France*, 5, 121-123.
- CHEVALIER (J.-P.) [1968]. — Géomorphologie de l'île Maré. Exp. Fr. sur les récifs coralliens de la Nouvelle Calédonie. Fond. Singer Polignac, 3, 1-50.
- COLMET-DAAGE (F.) et al. [1969]. — Caractéristiques et nature de la fraction argileuse de quelques sols rouges d'Haïti situés sur calcaires durs. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, VII, 3, 345-417.
- DE KIMPE (C.), GACTUCHE (M.C.), BRINDLEY (G.W.) [1961]. — Ionic coordinations in alumino silicic gels in relation to clay mineral formation. *Amer. Miner.*, 46, 1370-1388.

- DE KIMPE (C.), GASTUCHE (M.C.), BRINDLEY (G.W.) [1964]. — Low temperature syntheses of kaolin minerals. *Amer. Miner.*, 49, 1-16.
- DELVIGNE (J.) [1967]. — Bilans géochimiques de l'altération des roches basiques en Côte d'Ivoire ferrallitique. *Rev. Géogr. Phys. Géol. Dyn.*, IX, 4, 311-320.
- DUGAIN (F.) [1953]. — Note sur les sols de Maré (archipel des Loyauté), centre ORSTOM de Nouméa, 14 p. *multigr. res. anal.*
- EYLES (V.A.) [1958]. — A phosphatic band underlying bauxite in Jamaica. *Nature*, Londres, 182, 1367.
- FIELDER (M.), PERROTT (K.W.) [1966]. — The nature of allophane in soils. 3 : rapid field and laboratory test for allophane. *N.Z. Jl. Sc.*, 9, 3, 623-629.
- FRIPIAT (J.J.), GASTUCHE (M.C.) [1963]. — L'état d'organisation de départ et la synthèse des argiles. Int. Clay Conf. Stockholm, 2, 53-65.
- GASTUCHE (M.C.), FRIPIAT (J.J.), DE KIMPE (C.) [1961]. — La genèse des minéraux argileux de la famille de la kaolinite. in : Genèse et synthèse des argiles. Coll. Int. CNRS n° 105, 57-81.
- GASTUCHE (M.C.), HERBILLON (A.) [1962]. — Etude des gels d'alumine : cristallisation en milieu désionisé. *Bull. Soc. Chim. France*, 1404-1412.
- GRANGE (L.I.), FOX (J.P.) [1953]. — Soils of the Lower Cook Group. *N.Z. Soil Bur. Bull.* n.s. 8, 1-55.
- LAPPARENT (J. de) [1930]. — Les bauxites de la France méridionale. Mém. Carte Géol. France, Paris, 187 p.
- LE JAN (F.) [1964]. — Etude des roches prélevées dans l'île de Lifou, archipel des Loyautés, territoire de la Nouvelle Calédonie par M. le Professeur LUCAS, D.E.S. Paris.
- LENEUF (N.) [1959]. — L'altération des granites calco-alcalins et des granodiorites en Côte d'Ivoire forestière et les sols qui en sont dérivés. ORSTOM, Paris, 210 p.
- LUBIN (J.-C.) [1967]. — Recherches expérimentales sur l'évolution des gels alumino-siliciques en condition de libre drainage. Thèse doctorat 3<sup>e</sup> cycle, Fac. Sc. Paris.
- MILLOT (G.) [1964]. — Géologie des argiles. MASSON, Paris, 499 p.
- NICOLAS (J.), VERDIER (J.) [1964]. — Sur l'altération des roches acides de la « Sierra de Imataca » (Rio Caroni, Guyane vénézuélienne). *C.R. Acad. Sc. Paris*, 258, 5922-5924.
- OBELLIANE (J.M.) [1962]. — Le gisement de phosphate tricalcique de Makatea. *Sc. de la Terre*, Nancy, IX, 1, 60 p.
- PAPEE (D.), TERTIAN (R.), BIAIS (R.) [1958]. — Recherche sur la constitution des gels et des hydrates cristallisés d'alumine. *Bull. Soc. Chim. France*, n° 11-12, 1301-1310.
- PAQUET (H.) [1969]. — Evolution géochimique des minéraux argileux dans les altérations et les sols des climats méditerranéens et tropicaux à saisons contrastées. Thèse Fac. Sc. Univ. Strasbourg, 348 p. *multigr.*
- PEDRO (G.) [1964]. — Contribution à l'étude de l'altération expérimentale de l'altération géochimique des roches silicatées. Thèse Fac. Sc. Univ. Paris, INRA, Paris, 344 p.
- PEDRO (G.), LUBIN (J.-C.) [1968 a]. — Sur l'évolution de gels alumino-siliciques en milieu lessivé : influence de la nature des agents d'altération de bœhmite ou de gibbsite au sein des produits éluviaux. *C.R. Acad. Sc. Paris*, 266, D, 6, 551-554.
- PEDRO (G.), LUBIN (J.-C.) [1968 b]. — Etude sur l'évolution géochimique des gels alumino-siliciques et la formation des hydroxydes d'aluminium en condition de libre drainage. *Ann. agron.* Paris, 19, 3, 293-347.
- PEDRO (G.), BERRIER (J.), TESSIER (D.) [1970]. — Recherches expérimentales sur l'altération des argiles dioctaédriques de type kaolinite et illite. *Bull. Gr. Fr. Argiles*, XXII, 29-50.
- SCHMID (M.) [1956]. — Note sur les Iles Loyauté. Mission terres Nouvelle Calédonie, Minist. Fr. Outre Mer, Direc. Aff. Econ. et Plan, 18 p. *multigr.*
- SCHOFFIELD (J.-C.) [1959]. — The geology and hydrology of Niue Island, South Pacific, *N.Z. Geol. survey* (N.Z. Dep. Sc. and Ind. Res.) n° 62, 27 p.
- SEGALEN (P.) [1965]. — Les produits alumineux dans les sols de la zone tropicale humide. 1<sup>re</sup> partie : les produits alumineux. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, III, 2, 149-176.
- SEGALEN (P.) [1965]. — Les produits alumineux dans les sols de la zone tropicale humide. 2<sup>e</sup> partie : les sols de la zone tropicale humide et la genèse des produits alumineux. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, III, 3, 179-205.
- SEGALEN (P.) [1968]. — Note sur une méthode de détermination des produits amorphes dans certains sols à hydroxydes tropicaux. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, VI, 1, 105-126.



- SIEFFERMANN (G.) [1969]. — Les sols de quelques régions volcaniques du Cameroun, variations pédologiques et minéralogiques du milieu équatorial au milieu tropical. Thèse Fac. Sc. Univ. Strasbourg, 290 p. *multigr.*
- SIFFERT (B.) [1962]. — Quelques réactions de la silice en solution. La préparation des argiles. *Mém. Carte Géol. Alsace-Lorraine*, n° 21, Strasbourg, 86 p.
- SIFFERT (B.), WEY (R.) [1961]. — Sur la synthèse de la kaolinite à la température ordinaire. *C.R. Acad. Sc. Paris*, 253, 142-145.
- SINCLAIR (I.G.L.) [1967]. — Bauxite genesis in Jamaica : new evidence from trace elements distribution. *Econ. Geol.*, 62, 482-486.
- TERCINIER (G.) [1971]. — Sols des karsts de l'atoll surélevé de Lifou (îles Loyalty, territoire de la Nouvelle Calédonie) et problème de la bauxitisation. *C.R. Acad. Sc. Paris*, 272, D, 2067-2070.
- TERCINIER (G.), QUANTIN (P.) [1968]. — Influence de l'altération de cendres et ponces volcaniques d'âge récent sur la nature, les propriétés et la fertilité des sols aux Nouvelles Hébrides. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, VI, 2, 203-224.
- TRECHMANN (C.T.) [1959]. — Note on a pleistocene coral-rock in Jamaica altered into material resembling bauxite or laterite. *Quart. Journ. Geol. Soc. London*, 107, 443-444.
- TRICHET (J.) [1970]. — Contribution à l'étude de l'altération expérimentale des verres volcaniques. Thèse Fac. Sc. Paris, Ecole Normale Supérieure, Paris, 153 p.
- WEISSE (D. DE) [1964]. — Bauxite latéritique et bauxite karstique. Actes Symp. sur les bauxites, Zagreb, 1, 7-29.
- WEISSE (G. DE) [1970]. — Bauxite sur un atoll du Pacifique. L'île de Rennell dans l'archipel des Salomon. *Mineral. Deposita*, 5, 2, 181-183.
- WEY (R.), SIFFERT (B.) [1961]. — Réactions de la silice monomère en solution avec les ions  $Al_3^+$  et  $Mg_2^+$ . Coll. Int. CNRS, n° 105, 11-23.
- WRIGHT (A.C.S.), VAN WESTERNDORP (F.J.) [1965]. — Soils and agriculture of Niue Island. N.Z. Dep. Sci. and Ind. Resch., *Soil Bur. Bull.* n° 17, 80 p.
- ZANS (V.A.) [1952]. — Bauxites resources of Jamaica and their development. *Col. Geol. Miner. Resour.*, 3, 307-333.
- ZANS (V.A.) [1959]. — Recent views on the origin of bauxite. *Geonotes*, 1, 5, 123-132.
- ZANS (V.A.), LEMOINS (R.G.), ROCH (E.) [1960]. — Les « calcaires latéritisés » des Grandes Antilles. *C.R. Som. Soc. Géol. France*, 7, 177-178.
- ZANS (V.A.), LEMOINE (R.G.), ROCH (E.) [1961]. — Genèse des bauxites caraïbes. *C.R. Acad. Sc. Paris*, 252, 3302-3304.

TABLEAU I  
SOLS BAUXITIQUES ET ANDIQUES CARBONATÉS DES LOYAUTÉ

A						B				
	Sols bauxitiques					Encroû- tement calco- sesqui- oxydique	Sols andiques carbonatés			
	Sur dolomie		Sur calcaire				Li 33-4	Li 45-1	Li 45-2	UV 3-2
	Li 15-1	Li 15-2	Li 25-2	Li 37-1	Li 37-2					
Profondeur en cm.....	0-10	20-40	30-45	0-25	35-45	50-60	0-15	30-50	70-80	
Terre fine % .....	100	100	100	98,1	100	—	55,9	72,8	86,0	
CO <sub>3</sub> Ca sur terre fine %.....	néant	néant	néant	néant	traces	53,3	7,2	17,0	3,65	
Couleur humide .....	7,5 YR 3/2	5 YR 3/3	5 YR 3/3	2,5 YR 2/2	2,5 YR 2/4	—	2,5 Y 2/0	2,5 Y 2/0	Brun pâle (sec)	
Perte au feu % .....	36,2	25,8	29,5	37,5	29,8	33,2	56,2	50,0	24,5	
Résidu inattaqué % .....	0,99	0,76	0,69	0,66	1,10	0,42	9,7	12,3	28,9	
SiO <sub>2</sub> combiné % .....	0,33	0,76	4,11	0,50	0,87	2,19	10,7	9,7	20,0	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> % .....	20,3	24,7	21,3	18,3	21,7	11,7	3,15	4,20	6,2	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> % .....	35,8	42,0	37,4	34,8	40,2	23,7	5,3	7,8	13,8	
SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	0,016	0,031	0,19	0,024	0,036	0,16	3,4	2,1	2,45	
SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	0,011	0,022	0,14	0,018	0,027	0,12	2,5	1,6	1,9	
TiO <sub>2</sub> % .....	0,85	1,51	1,85	0,85	0,99	0,42	0,25	0,32	0,56	
MnO <sub>2</sub> % .....	0,71	0,73	0,90	1,05	0,93	0,073	0,22	0,20	0,40	
CaO % .....	1,16	0,24	0,86	2,54	1,61	27,5	9,6	12,9	3,61	
MgO % .....	0,62	0,69	0,54	0,77	0,61	0,10	1,06	0,64	0,61	
K <sub>2</sub> O % .....	0,017	0,012	0,022	0,036	0,027	0,033	0,055	0,022	0,03	
Na <sub>2</sub> O % .....	0,006	0,013	0,014	0,031	0,019	0,034	0,141	0,292	0,58	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> % .....	2,36	1,62	2,48	2,80	2,05	0,44	2,51	1,64	0,56	
SO <sub>3</sub> % .....	—	—	—	0,41	0,26	0,01	—	—	—	
<i>Matière organique</i>										
Mat. Org. Tot. %.....	13,65	3,15	3,52	13,79	6,62	—	31,16	20,22	3,67	
N total %.....	0,623	0,177	0,207	0,738	0,377	—	1,39	0,935	0,190	
C/N .....	12,7	10,3	9,9	10,8	10,2	—	13,0	12,5	11,1	
<i>Complexe d'échange + éléments solubles</i>										
pH (eau) .....	6,8	6,1	6,65	6,85	7,15	—	7,35	7,40	7,8	
CaO mé. p. 100 g .....	23,6	3,41	8,89	39,4	24,1	—	78,6	76,6	40,6	
MgO — — .....	6,12	2,15	0,80	5,08	1,19	—	14,3	8,7	6,5	
K <sub>2</sub> O — — .....	0,225	0,019	0,014	0,216	0,071	—	0,776	0,311	0,295	
Na <sub>2</sub> O — — .....	0,20	0,09	0,06	0,11	0,09	—	1,21	0,59	—	
T(Cap. Ech.) méq. p. 100 g ..	35,3	10,1	11,6	43,6	20,7	—	71,4	62,8	39,7	
V(Coeff. Saturation) %.....	85,4	56,1	84,1	100	100	—	100	100	100	

Analyses du laboratoire de Pédologie du centre ORSTOM de Nouméa (attaque nitro-perchlorique), sauf SO<sub>3</sub> de Li 37-1 et 37-2 : laboratoire de Chimie des Sols, S.S.C., ORSTOM Bondy (M. DABIN).

TABLEAU II

ETAT DE L'ALUMINE ET DES OXYDES DE FER DANS LES SOLS BAUXITIQUES DE LIFOU

(d'après déterminations des laboratoires de chimie des sols des centres ORSTOM de Nouméa et de Bondy et du laboratoire de spectrographie de S.S.C. de Bondy)

N° Echantillon Li .....	15-1	15-2	21-1	21-2	25-1	25-2	37-1	37-2	33-4
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> total % .....	35,8	42,0	34,7	40,5	30,6	37,4	34,8	40,2	23,7
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> total % .....	20,3	24,7	19,6	23,8	18,7	21,3	18,3	21,7	11,7
Pourcentage des diverses formes d'alumine par rapport aux sols séchés à l'air									
Boehmite en Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	23	26	19	21	10,5	12	23	28	18
Gibbsite en Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	8	11	10,5	14	14	17	8	9	4
Dont Gibbsite mal cristallisée ..	4,5	5	6,5	8	8,5	8	5	7	4
Dont Gibbsite médiocrement cristallisée .....	3,5	6	4	6	5,5	9	3	2	0
Alumine amorphe en Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ..	5	5	5	5	5,5	6	4	3	2
Alumine kaolinitique .....	—	—	—	—	0,5	2,5	—	—	—
Pourcentage des diverses formes d'alumine par rapport à l'alumine totale									
Boehmite en Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	64	62	55	51	34	32	66	70	75
Gibbsite en Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	22	26	30	36	46	46	23	22	17
Dont Gibbsite mal cristallisée	13	12	19	21	28	21	14	17	17
Dont Gibbsite médiocrement cristallisée .....	9	14	11	15	18	25	9	5	0
Alumine amorphe en Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ..	14	12	15	13	18	16	11	8	8
Alumine kaolinitique .....	—	—	—	—	2	6	—	—	—
Pourcentage des diverses formes d'oxydes de fer par rapport aux sols séchés à l'air									
Goethite mal cristallisée en Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> amorphe possible .....	15,7	16,0	13,4	15,9	11,8	15,5	12,8	16,9	10,8
* dont Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> amorphe possible	1,5	1,5	1,5	1	1	1,5	< 1	1,5	3,0
Oxydes de fer médiocrement à bien cristallisés en Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ..	4,7	8,7	6,2	8,1	6,9	6,8	5,5	4,8	0,9
* dont Goethite médiocrement cristallisée possible .....	2	7	3	5	3	5	3	2	<0,4

Profil 15 : sur dolomie de l'ancien lagon — Profils 21 et 25 : sur calcaire de l'ancien lagon — Profil 37 : sur calcaire de terrasse surélevé coté océanique — Echantillon 33-4 : encroûtement calco-sesquioxydique à 50 % de carbonates sur calcaire du rempart.

\* Résultats extrapolés très incertains sauf pour l'échantillon 33-4.

TABLEAU III

MURS CARBONATÉS, ROCHES DU SUBSTRAT CORALLIEN DE LIFOU.  
ORGANISMES CONSTITUTIFS DES CALCAIRES RÉCIFAUX

	Murs carbonatés des sols bauxitiques			Roches du substrat de Lifou			Organismes constitutifs des roches coralliennes		
	Li 14-1	Li 32-4	Li 44-1	Li 22-1	Li 23-1	Li 41-1	Madréporaires	Foramifères	Algues encroûtantes
Profondeur en cm .....	100	20	200	—	—	—	—	—	—
CO <sub>3</sub> Ca (Calcimètre) %.....	103,6 (dolomie)	99,0	99,0	99,0	99,0	100	94,4	94,8	—
Perte au feu % .....	46,8	43,8	44,8	43,7	44,2	43,9	45,2	45,2	48,4
Résidu inattaqué % .....	0,006	0,012	0,008	0,005	0,002	0,005	0,005	<0,005	0,000
SiO <sub>2</sub> combiné % .....	0,005	0,008	0,009	0,005	0,013	0,012	0,016		0,013
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> % .....	0,006	0,013	0,020	0,005	0,009	0,006	0,002	0,001	0,002
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> % .....	0,006	0,010	0,010	0,004	0,004	0,005	0,004	0,003	0,005
MnO <sub>2</sub> % .....	0,001	0,001	0,002	0,002	0,001	0,002	0,000	0,0005	0,001
CaO % .....	32,9	55,1	53,9	54,8	53,5	53,2	52,9	49,2	41,3
SrO % .....	0,02	0,047	0,130	0,112	0,177	0,088	0,93	0,30	0,25
MgO % .....	18,9	0,45	0,95	0,82	1,79	2,20	0,13	3,75	8,77
K <sub>2</sub> O % .....	0,004	0,001	0,001	0,001	0,005	0,002	0,015	0,013	0,008
Na <sub>2</sub> O % .....	0,033	0,004	0,010	0,007	0,052	0,032	0,292	0,48	0,239
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> % .....	0,06	—	0,06	0,06	0,05	0,07	0,01	0,06	0,22
SO <sub>3</sub> % .....	0,10	0,01	0,02	0,03	0,13	0,10	0,47	0,56	0,54

Analyses du laboratoire de Pédologie du centre ORSTOM de Nouméa, sauf SrO : laboratoire de Spectrographie des S.S.C. de l'ORSTOM à Bondy (M. PINTA).

Organismes constitutifs du corail : Madréporaires : baie de Chateaubriand à Lifou ; Foramifères : atoll fonctionnel des Tuamotu ; Algues encroûtantes : grand récif de Nouvelle Calédonie.

TABLEAU IV

TENEURS DES SOLS BAUXITIQUES DE LIFOU, DE LEURS MURS CARBONATÉS ET DES SOLS JUVÉNILES ANDO SUR PONCES VOLCANIQUES EN QUELQUES MICROÉLÉMENTS

	Sols bauxitiques (horizons humifères)				Murs carbonatés de sols bauxitiques		Sols juvéniles ando (ponces)	
	Li 15-1	Li 25-1	Li 10-1	Li 33-1	Li 14-1	Li 44-1	Carbonatés	Non carbonatés (Nouvelles Hébrides)
							Li 45-1	Ki 30
Ni : p.p.m. ....	15	20	15	15	< 5	< 5	< 5	10
Co : p.p.m. ....	5	10	10	5	< 5	< 5	< 5	20
Cr : p.p.m. ....	15	15	10	10	< 5	< 5	< 5	—

Déterminations du laboratoire de Spectrographie des S.S.C. de l'ORSTOM à Bondy (M. PINTA).

Les teneurs en nickel, cobalt et chrome de ces sols bauxitiques paraissent beaucoup trop faibles pour que des roches ultrabasiques, des argiles des grandes profondeurs, des poussières météoritiques ou des cendres basaltiques aient participé de façon notable à leur formation. Leur rapport TiO<sub>2</sub>/MnO<sub>2</sub> (Tableau I) s'accorde bien avec leur probable origine néo-hébridaise par l'intermédiaire de ponces flottées.